



2025

BetonKalender

Tunnelbau
Betonbauqualität (BBQ)



Ernst & Sohn
A Wiley Brand

2025

BetonKalender

Tunnelbau
Betonbauqualität (BBQ)

Herausgegeben von

Prof. Dipl.-Ing. DDr. DDr.-Ing. E.h. Konrad Bergmeister
Wien

Prof. Dr.-Ing. Frank Fingerloos
Berlin

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Johann-Dietrich Wörner
Darmstadt

114. Jahrgang

Hinweis des Verlages

Die Recherche zum Beton-Kalender ab Jahrgang 2001
bis Jahrgang 2022 steht im Internet zur Verfügung
unter www.ernst-und-sohn.de

Cover: Eisenbahntunnel Bleßberg, Tunnelportal Süd, Coburg
Copyright: Helmut Schugg, PERI SE, Weißenhorn

Bauherr: DB InfraGo AG, Infrastrukturprojekte Südost, Erfurt
Bauunternehmen: Ost Bau GmbH, NL Magdeburg und Zwickau
Schalungslösung: PERI Vertrieb Deutschland GmbH & Co. KG, Niederlassungen Berlin und Weißenhorn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2025 Ernst & Sohn GmbH, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: Hans Baltzer, Berlin
Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin
Satz: le-tex publishing services GmbH, Leipzig
Druck und Bindung:

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

ISSN 0342-7617

Print ISBN 978-3-433-03441-5

ePDF ISBN 978-3-433-61198-2

ePub ISBN 978-3-433-61197-5

oBook ISBN 978-3-433-61199-9

Vorwort

Der Beton-Kalender 2025 ist ein aktuelles Nachschlagewerk und eine Fundgrube für die spezifischen Themen des Tunnelbaus, der Energiebauwerke und der Betonbauqualität. Wissend, dass in der „Kürze die Würze“ liegt, soll dieses Vorwort gezielt knapp gehalten werden.

Im Teil 1 werden aktuelle Aufgabenfelder des Tunnelbaus aufgegriffen. Im Beton-Kalender 2014 wurde letztmalig der Themenschwerpunkt des „Unterirdischen Bauens“ und der „Geotechnik“ behandelt. In diesem Jahrgang werden einige Beiträge aktualisiert und neue relevante Themen aufgegriffen. Diese sind:

- I Konventioneller Tunnelbau bei geringer Überlagerung – Stand der Technik unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten von Robert Galler, Elisabeth Hauzinger, und Alexandros Evangelatos
- II Maschinelles Tunnelvortrieb – Verfahrenstechniken, Planungsgrundlagen und Herausforderungen von Matthias Flora und Markus Thewes
- III Tübbingfertigteile im Tunnelbau von Gereon Behnen und Oliver Fischer
- IV Injektionen im Tunnelbau von Conrad Boley, Yashar Forouzandeh, Paul Pratter und Götz Tintelnot
- V Unterirdische gleisgebundene Verknüpfungsstellen: Konzeption, Funktionalität, Sicherheitsaspekte, normative Regelungen von Konrad Bergmeister, Andreas Busslinger, Frank Leismann, Jan Erik Döhler, Roland Leucker, Christoph Rudin und Elisabeth Stierschneider
- VI BIM-basierte Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastrukturbauprojekten am Beispiel von Tunnelbauprojekten von Michelle Kaus, Sabine Hartmann, Jan-Iwo Jäkel, Theresa Maier und Katharina Klemm-Albert
- VII Tunnel Information Modeling auf dem Weg zum digitalen Zwilling von Matthias Flora, Georg Frösch, Hannah Salzgeber und Larissa Schneiderbauer
- VIII Digitalisierung im Tunnelbau – Planung, Ausführung, Betrieb von Günther Meschke, Markus König, Markus Thewes, Steffen Freitag, Götz Vollmann, Gerrit Emanuel Neu, Abdullah Al-sahly und Ba Trung Cao
- IX Sensorik und Langzeitmonitoring im Tunnelbau von Werner Lienhart, Christoph Martin Monsberger, Johannes Fleckl-Ernst und Bernd Moritz
- X Risikomanagement im Tunnelbau und die Integrierte Projektabwicklung (IPA) von Simon Christian Becker, Konrad Bergmeister und Philip Sander

Der Teil 2 widmet sich insbesondere der Betonbauqualität sowie den Windenergieanlagen und der oberflächennahen Geothermie. Mit dem Blick auf die Verbesserung der Betonbauqualität (BBQ) in DIN 1045-2

wurde das Kapitel zum Beton aktualisiert. Der Beton-Kalender 2025 enthält auch weitere Erläuterungen zu den neuen Normen DIN 1045-1000, DIN 1045-1 und DIN 1045-3 mit den Betonbauqualitätsklassen und zur Herstellung von klinkerarmen Betonen mit besonderer Relevanz für die Nachhaltigkeit. Die Übersicht der Normen und Regelwerke wird in aktualisierter Form dargestellt und die DAfStb-Richtlinie „Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten“ abgedruckt. Die spezifischen Themen sind:

- XI Windenergieanlagen in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise von Jürgen Grünberg, Joachim Göhlmann, Vincent Oettel, Boso Schmidt und Hendrik Bock
- XII Oberflächennahe Geothermie von Christian Moormann und Till Kugler
- XIII Erläuterungen zur neuen DIN 1045-1000 und DIN 1045-1 – Betonbauqualität (BBQ) von Rolf Breitenbücher, Frank Fingerloos, Josef Hegger und Udo Wiens
- XIV Beton von Udo Wiens und Frank Dehn
- XV Die neue DIN 1045-3 „Bauausführung“ mit ihren wesentlichen Änderungen von Roland Pickhardt und Thomas Richter
- XVI Beton im Tunnelbau von Rolf Breitenbücher und Sven Plückelmann
- XVII Renaissance der calcinierten Tone – Herausforderungen und Leistungsfähigkeit von klinkerarmen Betonen der Zukunft von Nancy Beunter, Julian Link, Steffen Overmann, Christiane Rößler, Corinna Rozanski, Tobias Schack, Sebastian Scherb, Thomas Sowoidnich, Ricarda Sposito, Torben Gädt, Michael Haist, Horst-Michael Ludwig, Thomas Matschei und Christian Thienel
- XVIII Normen und Regelwerke von Frank Fingerloos und die DIN 1045-1000 sowie die DAfStb-Richtlinie „Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten“

Der Beton-Kalender 2025 mit den Themenschwerpunkten „Tunnelbau“ und „Betonbauqualität“ bietet viel Fachwissen mit Beispielen aus der Ingenieurpraxis. Dieser Beton-Kalender ist nicht nur ein wissenschaftlich fundiertes Nachschlagewerk für die Ingenieurpraxis, sondern beinhaltet durch die vielen Literaturzitate auch wertvolle Informationen für die Forschung. Ein erfolgreiches Studieren, Forschen und Konstruieren wünschen die Herausgeber.

Wien,
Berlin,
Darmstadt,
im September 2024

Konrad Bergmeister
Frank Fingerloos
Johann-Dietrich Wörner

Herausgeber

Prof. Dipl.-Ing. DDr. DDr.-Ing. E. h.
Konrad Bergmeister
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien/Österreich

Prof. Dr.-Ing. Frank Fingerloos
Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V.
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Johann-Dietrich Wörner
Technische Universität Darmstadt
Institut für Statik und Konstruktion
Franziska-Braun-Straße 3, 64287 Darmstadt

Verlag

Ernst & Sohn GmbH
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Tel. (030) 47031-200
E-Mail: info@ernst-und-sohn.de
www.ernst-und-sohn.de

Inhaltsübersicht

- I Konventioneller Tunnelbau bei geringer Überlagerung – Stand der Technik unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten **1**
Robert Galler, Elisabeth Hauzinger, Alexandros Evangelatos
- II Maschinellem Tunnelvortrieb – Verfahrenstechniken, Planungsgrundlagen und Herausforderungen **31**
Matthias Flora, Markus Thewes
- III Tübbingfertigteile im Tunnelbau **77**
Gereon Behnen, Oliver Fischer
- IV Injektionen im Tunnelbau **151**
Conrad Boley, Yashar Forouzandeh, Paul Pratter, Götz Tintelnot
- V Unterirdische gleisgebundene Verknüpfungsstellen: Konzeption, Funktionalität, Sicherheitsaspekte, normative Regelungen **191**
Konrad Bergmeister, Andreas Busslinger, Jan Erik Döhler, Frank Leismann, Roland Leucker, Christoph Rudin, Elisabeth Stierschneider
- VI BIM-basierte Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastruktursystemen am Beispiel von Tunnelbauwerken **229**
Michelle Kaus, Sabine Hartmann, Jan-Iwo Jäkel, Theresa Maier, Katharina Klemt-Albert
- VII Tunnel Information Modeling auf dem Weg zum digitalen Zwilling **261**
Matthias Flora, Georg Fröch, Hannah Salzgeber, Larissa Schneiderbauer
- VIII Digitalisierung im Tunnelbau – Planung, Ausführung, Betrieb **287**
Günther Meschke, Markus König, Markus Thewes, Steffen Freitag, Götz Vollmann, Gerrit Emanuel Neu, Abdullah Alsahly, Ba Trung Cao
- IX Sensorik und Langzeitmonitoring im Tunnelbau **393**
Werner Lienhart, Christoph Martin Monsberger, Johannes Fleckl-Ernst, Bernd Moritz
- X Risikomanagement im Tunnelbau und die Integrierte Projektentwicklung (IPA) **415**
Simon Christian Becker, Konrad Bergmeister, Philip Sander
- XI Windenergieanlagen in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise **487**
Jürgen Grünberg, Joachim Göhlmann, Vincent Oettel, Boso Schmidt, Hendrik Bock
- XII Oberflächennahe Geothermie **571**
Christian Moormann, Till Kugler
- XIII Erläuterungen zur neuen DIN 1045-1000 und DIN 1045-1 – Betonbauqualität (BBQ) **633**
Rolf Breitenbücher, Frank Fingerloos, Josef Hegger, Udo Wiens
- XIV Beton **649**
Frank Dehn, Udo Wiens
- XV Die neue DIN 1045-3 „Bauausführung“ mit ihren wesentlichen Änderungen **831**
Roland Pickhardt, Thomas Richter
- XVI Beton im Tunnelbau **851**
Rolf Breitenbücher, Sven Plückelmann
- XVII Renaissance der calcinierten Tone – Herausforderungen und Leistungsfähigkeit von klinkerarmen Betonen der Zukunft **923**
Nancy Beuntner, Julian Link, Steffen Overmann, Christiane Rößler, Corinna Rozanski, Tobias Schack, Sebastian Scherb, Thomas Sowoidnich, Ricarda Sposito, Torben Gädt, Michael Haist, Horst-Michael Ludwig, Thomas Matschei, Karl-Christian Thienen
- XVIII Normen und Regelwerke **973**
Frank Fingerloos

Inhaltsverzeichnis

Autor:innenverzeichnis [XXIII](#)

I Konventioneller Tunnelbau bei geringer Überlagerung – Stand der Technik unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten 1	
Robert Galler, Elisabeth Hauzinger, Alexandros Evangelatos	
1	Einleitung 3
2	Zukünftiger Bedarf an unterirdischer Infrastruktur 3
3	Konventioneller Tunnelbau bei seichter Überlagerung – Technische Aspekte 4
3.1	Erforderliche Erkundungsmaßnahmen 4
3.2	Instrumentierung und Überwachung 5
3.3	Bodenverbesserungsmaßnahmen 7
3.3.1	Entwässerungsmaßnahmen 7
3.3.2	Injektionsmaßnahmen 8
3.3.3	Gefrierverfahren 8
3.3.4	Voraussetzende Sicherungsmaßnahmen 8
3.4	Mögliche Wechselwirkungen mit bestehenden Gebäuden 9
3.5	Risikomanagement 10
3.6	Empfehlungen hinsichtlich vertraglicher Anforderungen 11
3.6.1	Risikoteilung 12
3.6.2	Vertragsmodelle 12
3.6.2.1	Design-Bid-Build (DBB) 13
3.6.2.2	Design-Build (DB) 13
4	Nachhaltigkeitsaspekte im konventionellen Tunnelbau 14
4.1	Verwertung von Tunnelausbruch 14
4.1.1	Rechtliche Rahmenbedingungen 14
4.1.2	Schadstoffeintrag während des Vortriebs – Auswirkungen und Lösungsansätze 15
4.1.2.1	Verunreinigung von Ausbruchmaterial 15
4.1.2.2	Lungengängiger Quarzstaub in der Tunnelluft 16
4.1.3	Echtzeit-Analyse des Aushubmaterials 16
4.1.4	Möglichkeiten der Verwendung von Ausbruchmaterial 17
4.1.4.1	Recycling-Baustoffe 17
4.1.4.2	Rohstoffe für Industriemineralien 19
4.1.4.3	Substitution von sekundären Baurohstoffen 19
4.2	Einsatz von Faserbeton 20
4.2.1	Vorteile von Faserbeton 21
4.2.2	Faserarten 21
4.2.3	Nachhaltigkeitsaspekte von Faserbeton 21
4.2.4	Dauerhaftigkeit von Faserbeton 22
4.2.5	Einschalige Tunnelauskleidung 23
5	Zusammenfassung und Ausblick 25
II Maschineller Tunnelvortrieb – Verfahrenstechniken, Planungsgrundlagen und Herausforderungen 31	
Matthias Flora, Markus Thewes	
1	Einleitung 33
2	Verfahrenstechniken im maschinellen Tunnelvortrieb 33
2.1	Einteilung der Tunnelbohrmaschinen 33
2.2	Festgesteins-Tunnelbohrmaschinen 34
2.2.1	Tunnelbohrmaschinen ohne Schild (Gripper-TBM) 35
2.2.2	Einfachschildmaschinen (OPS) 36
2.2.3	Doppelschildmaschinen (DOS) 36
2.2.4	Systemwahl: Gripper-TBM vs. Einfachschildmaschine vs. Doppelschildmaschine 36
2.3	Schildmaschinen für Lockergestein 37
2.3.1	Flüssigkeitsschild 38
2.3.1.1	Einsatzbereiche 39
2.3.1.2	Herstellung und Überwachung der Suspension 40
2.3.2	Erddruckschilde (EPB) 42
2.3.2.1	Betriebsmodus 43
2.3.2.2	Einsatzbereiche und Boden-konditionierung 44
2.3.3	Variable Density Schild (VDS) 47
2.3.4	Hybride Schilde für unterschiedlichen Modus 47
2.3.5	Systemwahl Flüssigkeitsschild (Hydro) – Erddruckschild (EPB) – Variable Density 48
3	Ringspalthinterfüllung 50
3.1	Mörtel 50
3.2	Perlkies 51
3.3	Zwei-Komponenten-(2-K-) Ringspaltverfüllung 52
3.4	Verfahrenstechnik zur Verfüllung des Ringspalts 52

4	Herausforderungen und Erschwernisse	53	4.2.4	Verlängerung Versorgungsleitungen	66
4.1	Herausforderungen aufgrund geologischer und geotechnischer Gegebenheiten	54	4.3	Umwelt	66
4.1.1	Verklebungen	54	4.3.1	Wiederverwertung von Ausbruchmaterial und Deponierung	66
4.1.2	Verschleiß	56	4.3.2	Separierung	67
4.1.3	Mixed-face	57	5	Bedarf an künftigen Entwicklungen	69
4.1.4	Blockige Ortsbrust	59	5.1	Digitalisierung	69
4.1.5	Drückendes Gebirge	60	5.2	Automatisierung	70
4.2	Maschinentechnische Herausforderungen	61	5.3	Prozessbasierte Auswahl der Tunnelvortriebsmethode	70
4.2.1	Mechatronik	61	5.4	Nachhaltigkeit und CO ₂ -Bilanzierung	72
4.2.2	Ringsbau und Ringspaltverfüllung	61			
4.2.3	Inspektion und Werkzeugwechsel	62			
4.2.3.1	Inspektion und Wartung bei hohem Stützdruck	62			
4.2.3.2	Einfluss des Durchmessers	64			
III	Tübbingfertigteile im Tunnelbau	77			
	Gereon Behnen, Oliver Fischer				
1	Einleitung	81	2.4.5	Ringfugenausbildung	106
1.1	Überblick, Entwicklung der Bauweise	81	2.4.6	Schlussstein kinematik und Pressenhub	108
1.2	Bezeichnungen	82	2.5	Einbauteile in Tübbings	108
2	Herstellung und Konstruktion von Tübbings	83	2.5.1	Verbindungsmittel (Verschraubungen, Steckdübel)	108
2.1	Grundlagen	83	2.5.2	Montagehilfen	110
2.1.1	Definition	83	2.5.3	Dichtungssysteme	110
2.1.2	Anwendungsgebiete, Vorteile und Grenzen des Tübbingausbaus	84	3	Statische Berechnung einschaliger Tübbingausbauten	112
2.1.3	Querschnittsgestaltung	84	3.1	Grundlagen	112
2.1.4	Einschaliger oder zweischaliger Tübbingausbau	85	3.2	Einwirkungen	113
2.1.5	Tübbingsysteme – Profilformen	86	3.2.1	Einwirkungen im Endzustand	113
2.1.6	Tübbings im Bereich von Querschlagsöffnungen	90	3.2.2	Einwirkungen aus Bauzuständen	113
2.2	Herstellung und Einbau	90	3.3	Statische Systeme und Berechnungsmodelle (Tübbingring und Boden-Bauwerk-Interaktion)	115
2.2.1	Herstellung im Werk	90	3.3.1	Übersicht Berechnungsmodelle	115
2.2.2	Qualitätssicherung	91	3.3.2	Einzelfragen zu den Modellierungsannahmen	116
2.2.3	Toleranzen	92	3.3.2.1	Modellierung von Stabzügen (allgemein)	116
2.2.4	Betontechnologie	93	3.3.2.2	Ersatzsteifigkeit nach Muir-Wood	116
2.2.5	Transport und Einbau der Tübbings	93	3.3.2.3	Drehfedersteifigkeit der Längsfugen nach Janßen und Leonhard/Reimann	116
2.2.6	Interaktion zwischen Tübbingfertigteilen und Tunnelvortriebsmaschine	94	3.3.2.4	Modellierung gekoppelter Ringe/Koppelfedern	118
2.2.7	Ringspaltverpressung	94	3.3.2.5	Ansatz der Bettungsfedern bei Gebetteten- Stabzug-Systemen	118
2.3	Funktionale Anforderungen an den Tübbingausbau	95	3.3.2.6	Anmerkungen zur Kopplung der Tunnel- schale an den Baugrund/Ringspalt- verfüllung	118
2.3.1	Tragfähigkeit	95	3.3.2.7	Anmerkungen zum Ansatz der Grund- wasserstände und des Grundwasser- drucks	119
2.3.2	Dauerhaftigkeit	95	3.4	Nachweiskonzepte (Gesamtsystem)	119
2.3.3	Gebrauchstauglichkeit	96	3.4.1	Nachweiskonzepte (Gesamtsysteme)	120
2.3.4	Brandschutzanforderungen	96	3.4.2	Anmerkungen zur Sicherheitsdefinition im Tunnelbau	121
2.3.5	Bauzustände	97			
2.3.6	Nachhaltigkeit	97			
2.4	Entwurfselemente und Geometrie	97			
2.4.1	Entwurfssgrundsätze	97			
2.4.2	Ringgeometrie	98			
2.4.3	Ringkeilform (Ringkonizität)	102			
2.4.4	Längsfugenausbildung	104			

- 3.5 Analytische Detailnachweise 122
 - 3.5.1 Nachweis der Teilflächenpressung an den Längsfugen 122
 - 3.5.2 Spaltzugnachweise an den Längsfugen 126
 - 3.5.3 Nachweis der Pressenkraftdurchleitung an den Ringfugen 127
 - 3.5.4 Nachweis der Übertragung von Koppelkräften 128
 - 3.5.5 Nachweisformate für Herstell-, Transport- und Montagezustände 129
 - 3.5.6 Nachweis der Scheibenbeanspruchung (Fugenversätze, Pressenkraftdurchleitung) 130
 - 3.6 Bewehrungsbildung 131
 - 3.6.1 Allgemeines 131
 - 3.6.2 Betondeckung 131
 - 3.6.3 Flächenbewehrung 131
 - 3.6.4 Fugenbewehrung 131
 - 3.6.5 Bewehrungsgehalt 131
- IV Injektionen im Tunnelbau 151**
Conrad Boley, Yashar Forouzandeh, Paul Pratter, Götz Tintelnot
- 1 Einleitung 153
 - 1.1 Geschichte und Bedeutung 153
 - 1.2 Begriffe und Bezeichnungen 153
 - 2 Aktuelle Regelwerke und Empfehlungen 154
 - 3 Injektionsmaterial 155
 - 3.1 Partikuläre Injektionsmaterialien 155
 - 3.1.1 Organische Injektionsmaterialien 155
 - 3.1.2 Mineralische Injektionsmaterialien 156
 - 3.2 Chemische Injektionsmaterialien 157
 - 3.2.1 Silikate 157
 - 3.2.2 Acrylate 157
 - 3.2.3 Polyurethane 158
 - 3.2.4 Epoxide 158
 - 3.3 Hybridinjektion 159
 - 4 Injektionstechnik 159
 - 4.1 Injektionslanzen 159
 - 4.1.1 Art der Lanzen 159
 - 4.1.2 Anordnung der Lanzen und Beschränkungen 160
 - 4.2 Bohrverfahren 160
 - 4.3 Mischtechnik 162
 - 4.4 Pumpentechnik 163
 - 4.5 Monitoring 164
 - 5 Entwurf und Bemessung 164
 - 5.1 Erforderliche Nachweise 164
 - 5.2 Eigenschaften des Injektionsmaterials 165
 - 5.2.1 Rheologische Eigenschaften des Injektionsmaterials 165
 - 5.2.2 Verdünnungseffekt des Injektionsmaterials (Diffusion) 166
 - 5.3 Baugrund-/Gebirgsparameter 167
 - 5.3.1 Durchlässigkeit 167
 - 5.3.2 Porosität 168
 - 5.3.3 Saugspannung 169
 - 5.4 Injektionsverfahren ohne Verdrängung 170
 - 5.4.1 Injizierbarkeit des Untergrunds 170
 - 5.4.2 Reichweite und Ausbreitungsverhalten 173
 - 5.4.3 Mechanische und hydraulische Eigenschaften 175
 - 5.5 Injektionsverfahren mit Verdrängung 176
 - 5.6 Düsenstrahlverfahren 179
 - 5.6.1 Anwendbarkeit und Einwirkungsbereich 179
 - 5.6.2 Mechanische und hydraulische Eigenschaften 179
 - 6 Anwendungen im Tunnelbau 180
 - 6.1 Tunnelvortrieb 182
 - 6.2 Sanierung 184
 - 6.3 Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit 184
 - 6.4 Deponie- und Recyclingfähigkeit 186

V Unterirdische gleisgebundene Verknüpfungsstellen: Konzeption, Funktionalität, Sicherheitsaspekte, normative Regelungen 191

Konrad Bergmeister, Andreas Busslinger, Jan Erik Döhler, Frank Leismann, Roland Leucker, Christoph Rudin, Elisabeth Stierschneider

- | | | | |
|---------|--|--------|--|
| 1 | Einleitung 193 | 4 | Unterirdische Verknüpfungsstellen – systemische Überlegungen 203 |
| 1.1 | Vorbemerkungen 193 | 4.1 | Einführung und Übersicht 203 |
| 1.2 | Definition der Verknüpfungsstellen 193 | 4.2 | Variante 1: Einbindung 1 × 2-gleisig ohne Überleitstelle (Strecken-zusammenführung) 204 |
| 2 | Normative Vorgaben zur Sicherheit von Tunnelanlagen 193 | 4.2.1 | Beschreibung 204 |
| 2.1 | Einleitung 193 | 4.2.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 204 |
| 2.2 | Verordnungen der Europäischen Union zur Tunnelsicherheit 194 | 4.3 | Variante 2: Einbindung 2 × 1-gleisig ohne Überleitstellen (Strecken-zusammenführung) 204 |
| 2.3 | Nationales Recht europäischer Staaten zur Tunnelsicherheit 194 | 4.3.1 | Beschreibung 204 |
| 2.3.1 | Deutschland 195 | 4.3.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 205 |
| 2.3.2 | Österreich 196 | 4.4 | Variante 3: Einbindung 1 × 2-gleisig (Strecken-zusammenführung) 206 |
| 2.3.3 | Schweiz 196 | 4.4.1 | Beschreibung 206 |
| 2.3.4 | Italien 196 | 4.4.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 206 |
| 2.3.5 | Frankreich 196 | 4.5 | Variante 4: Einbindung 2 × 1-gleisig (Strecken-zusammenführung) 206 |
| 2.3.6 | Belgien 197 | 4.5.1 | Beschreibung 206 |
| 2.3.7 | Niederlande 197 | 4.5.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 208 |
| 2.3.8 | Schweden 197 | 4.6 | Variante 5: Einbindung 2 × 1-gleisig mit Überleitstellen in Kaverne (Strecken-zusammenführung) 209 |
| 2.3.9 | Portugal 197 | 4.6.1 | Beschreibung 209 |
| 2.3.10 | Spanien 197 | 4.6.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 209 |
| 2.3.11 | Dänemark 197 | 4.7 | Variante 6: 2 × 2-gleisig ohne Überleitstellen 211 |
| 2.3.12 | Zusammenfassung der anzuwendenden Regelwerke 197 | 4.7.1 | Beschreibung 211 |
| 2.4 | Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 198 | 4.7.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 211 |
| 3 | Flucht- und Rettungskonzepte – Einflussfaktoren auf die Sicherheit 198 | 4.8 | Variante 7: 4 × 1-gleisig ohne Überleitstellen 211 |
| 3.1 | Allgemeines 198 | 4.8.1 | Beschreibung 211 |
| 3.2 | Ereignisfälle 198 | 4.8.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 211 |
| 3.3 | Angestrebte Schutzziele 198 | 4.9 | Variante 8: 4-gleisig ohne Überleitstelle 214 |
| 3.4 | Selbstrettung 199 | 4.9.1 | Beschreibung 214 |
| 3.5 | Fremdrettung 199 | 4.9.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 214 |
| 3.6 | Maßnahmen zur Unterstützung der Selbst- und Fremdrettung 200 | 4.10 | Variante 9: 2 × 2-gleisig 215 |
| 3.6.1 | Vorbeugung und Ausmaßverminderung 200 | 4.10.1 | Beschreibung 215 |
| 3.6.2 | Bauliche Maßnahmen 201 | 4.10.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 215 |
| 3.6.3 | Anlagentechnische Maßnahmen 201 | 4.11 | Variante 10: 2 × 2-gleisig mit Überleitstellen in Kaverne 215 |
| 3.6.3.1 | Beleuchtung 201 | 4.11.1 | Beschreibung 215 |
| 3.6.3.2 | Lüftung in unterirdischen Bahnanlagen 202 | 4.11.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 217 |
| 3.6.3.3 | Löschsysteme und Brandbekämpfungsanlagen 202 | 4.12 | Variante 11: 4 × 1-gleisig 217 |
| 3.6.4 | Organisatorische Maßnahmen 202 | 4.12.1 | Beschreibung 217 |
| | | 4.12.2 | Spezifische Sicherheitsmaßnahmen im Bereich der Verknüpfungsstelle 217 |

4.13	Variante 12: 4×1-gleisig mit Überleitstellen in Kaverne 220	4.15	Bewertung der Varianten von unterirdischen Verknüpfungsstellen 222
4.13.1	Beschreibung 220	4.15.1	Kriterien und Verfahren der Bewertung 222
4.13.2	Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 221	4.15.2	Vergleichende Darstellung der Bewertung der einzelnen Varianten 224
4.14	Variante 13: 4-gleisig 221	5	Zusammenfassende Feststellungen 226
4.14.1	Beschreibung 221		
4.14.2	Spezifische Sicherheitsmaßnahmen 222		
VI	BIM-basierte Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastruktursystemen am Beispiel von Tunnelbauwerken 229		
	Michelle Kaus, Sabine Hartmann, Jan-Iwo Jäkel, Theresa Maier, Katharina Klemt-Albert		
1	Einleitung 231	3.2.2	Nachhaltigkeitsbewertungssysteme im Hochbau und in der Infrastruktur 236
2	Aufbau des Beitrags 231	3.2.3	Nachhaltigkeitsbewertungen und Pilotstudien im Rahmen von BAST-Berichten 238
3	Theoretische Grundlagen 231	3.2.4	Das Rechenverfahren nach DIN EN 17472 240
3.1	Definitionen und Begriffsabgrenzungen 231	3.2.5	Art der Bewertung 242
3.1.1	Ingenieurbauwerke 231	3.2.6	Stand der Wissenschaft 244
3.1.2	Ingenieur- und Tunnelbauwerke in der Infrastruktur 233	4	Fallbeispiel einer Tunnel-Nachhaltigkeitsbewertung 248
3.1.3	Tunnelbauwerke 233	4.1	Modellinformationen 248
3.1.4	Nachhaltigkeit 234	4.2	Durchführung der Untersuchung 249
3.1.5	Dreiklang der Nachhaltigkeit 234	4.3	Ergebnisse 251
3.1.6	Building Information Modeling 235	5	Fazit und Ausblick 254
3.2	Grundlagen der Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastruktur 236		
3.2.1	Stand der Technik – eine Untersuchung nach dem Schneeballprinzip 236		
VII	Tunnel Information Modeling auf dem Weg zum digitalen Zwilling 261		
	Matthias Flora, Georg Fröch, Hannah Salzgeber, Larissa Schneiderbauer		
1	Einleitung 263	4	Der Weg zum digitalen Zwilling im Tunnelbau – aktueller Stand 272
2	Vision 263	4.1	Ein Blick in andere Branchen 272
2.1	Definition und Einflussfaktoren von Visionen des digitalen Bauens 263	4.2	Digitale Zwillinge in der Baubranche 273
2.2	Entwicklung der Vision des digitalen Bauens im Tunnelbau 263	4.3	Der digitale Zwilling im Tunnelbau 276
3	Tunnel Information Modeling – Stand in Forschung und Praxis 265	4.4	Hypothesen für den digitalen Zwilling Tunnel 276
3.1	Aktuelle Normative Grundlagen und Standards 265	5	Mission 277
3.2	Baugrundmodell 266	5.1	Digitales Modell 277
3.3	Bauwerksmodell 269	5.2	Digitaler Schatten 278
3.4	Baustellenmodell 271	5.3	Digitaler Zwilling 280
		5.4	Ökosystem von digitalen Zwillingen 282
		6	Fazit und Ausblick 283

VIII Digitalisierung im Tunnelbau – Planung, Ausführung, Betrieb 287

Günther Meschke, Markus König, Markus Thewes, Steffen Freitag, Götz Vollmann, Gerrit Emanuel Neu, Abdullah Alsahly, Ba Trung Cao

1	Einleitung	289	4.2	Echtzeitsimulationen zur Unterstützung der TBM-Vortriebssteuerung	351
2	Informationsmanagement im Tunnelbau	292	4.2.1	Ersatzmodelle für Echtzeitprognosen	352
2.1	Tunnel Information Modeling (TIM)	292	4.2.2	POD-RBF-Ersatzmodell zur Echtzeitsimulation von Setzungen, Tunnelschalenbeanspruchungen und Gebäudeschadensrisiken	353
2.1.1	Hybrides Bodendatenmodell	293	4.2.3	Hybride Ersatzmodelle zur Echtzeit-Setzungsprognose unter Einbeziehung von Unschärfen	360
2.1.2	Tunnelbauwerksmodell	294	4.2.4	Update der Echtzeitprognosemodelle mit Monitoring-Daten	364
2.1.3	Modell der Tunnelvortriebsmaschine (TVM)	294	4.2.5	SMART-Application zur Unterstützung der Vortriebssteuerung	365
2.2	Interaktionsplattform auf Grundlage des TIMs	295	5	Tunnelbetrieb	367
2.2.1	Verknüpfung und Visualisierung von Tunnelvortrieb und Setzungen	295	5.1	Grundlagen zur Vergabe von BIM-Leistungen	367
3	Digitales Design	296	5.1.1	Allgemeines	367
3.1	Digitale Tools für die Tunnelplanung	296	5.1.2	BIM-basiertes Handover zum Betriebsmodell	369
3.1.1	Interaktive Exploration von Planungsvarianten	298	5.1.3	Hinweise zur Umsetzung der BIM-Methode für den Straßentunnelbetrieb	371
3.2	Numerische Simulation und digitale Planungsprozesse am Beispiel des maschinellen Tunnelbaus	302	5.2	Muster-Auftraggeber-Informationsanforderungen für die Betriebsphase von Straßentunneln	371
3.2.1	Numerisches Tunnelvortriebsmodell ekate	303	5.2.1	BIM-Ziele und Anwendungsfälle	371
3.2.2	Automatisierte BIM-basierte Modellgenerierung (BIM-to-FEM-Workflow)	309	5.2.2	Bereitgestellte digitale Grundlagen	374
3.2.3	Simulationsstrategien für eine nahtlose Anbindung an TIM-Geometriemodelle	310	5.2.3	Digitale Liefergegenstände und Lieferzeitpunkte	374
3.2.4	Analyse von Trassierungsvarianten in Echtzeit	313	5.2.4	Organisation und Rollen	374
3.3	Digitale Werkzeuge zur Unterstützung des Entwurfs segmentierter Tunnelschalen	316	5.2.5	Strategie der Zusammenarbeit	375
3.3.1	Tübbingentwurf im „Virtual Lab“	317	5.2.6	Qualitätssicherung	375
3.3.2	Sicherheitskonzepte für nichtlineare Berechnungsmodelle	322	5.2.7	Modellstruktur und Modellinhalte	375
3.3.3	Berücksichtigung von Unschärfe im Tübbingentwurf	325	5.2.8	Technologien	378
3.3.4	Optimierung und Design Tools für Tübbinge auf Basis von Surrogatmodellen	331	5.3	Empfehlungen zur Umsetzung eines praxisgerechten Modells für die Betriebs- und Erhaltungsphase	379
4	Digitale Zwillinge zur Unterstützung des Tunnelvortriebs	336	5.3.1	Anforderungen an die kollaborative Zusammenarbeit	379
4.1	Simulation von Logistik- und Produktionsprozessen	336	5.3.2	Hinweise zur Standardisierung	380
4.1.1	Modellierung und Prozesssimulation	338	5.4	Grundsätze zur Entwicklung und Nutzung digitaler Zwillinge für den Tunnelbetrieb	380
4.1.2	Optimierung von Instandhaltungsstrategien	343	5.4.1	Stand von Wissenschaft und Technik	380
4.1.3	Prozesssimulation während der Projektdurchführung	348	5.4.2	Tunnelleitzentralen und mögliche Einsatzbereiche von digitalen Zwillingen	381

IX Sensorik und Langzeitmonitoring im Tunnelbau 393

Werner Lienhart, Christoph Martin Monsberger, Johannes Fleckl-Ernst, Bernd Moritz

- | | | | | | |
|-------|--|-----|-------|---|-----|
| 1 | Einleitung | 395 | 6 | Spezielle Aspekte im
Langzeitmonitoring | 405 |
| 2 | Messgrößen und Messsysteme | 395 | 6.1 | Genauigkeit und Präzision
von Sensoren | 405 |
| 3 | Messkonfigurationen | 398 | 6.2 | Datenverfügbarkeit | 406 |
| 3.1 | Messungen in Querschnittsrichtung | 398 | 6.3 | Verifikation von Messergebnissen | 409 |
| 3.2 | Messungen in Tunnellängsrichtung | 398 | 6.3.1 | Kalibrierung von Sensoren | 409 |
| 4 | Langzeitmonitoring mit geodätischen
Sensoren | 398 | 6.3.2 | Verifikation ohne zusätzlichen Sensor | 409 |
| 4.1 | 3D-Verschiebungsmessungen von
Einzelpunkten mit Totalstationen
und Nivellement | 398 | 6.3.3 | Verifikation mit Sensor des gleichen
Typs | 409 |
| 4.2 | Oberflächenerfassung | 401 | 6.3.4 | Verifikation mit zusätzlichen Sensoren
mit gleicher Messgröße, aber anderem
Messprinzip | 409 |
| 4.2.1 | Laserscanning | 401 | 6.3.5 | Verifikation mit zusätzlichen Sensoren
mit unterschiedlicher Messgröße | 409 |
| 4.2.2 | Bildbasierte Messverfahren | 402 | 6.3.6 | Externe Bestimmung von
Langzeiteffekten | 410 |
| 4.2.3 | Radarmessungen InSAR | 402 | 6.3.7 | Überblick der Verifikations-
möglichkeiten | 410 |
| 5 | Langzeitmonitoring mit eingebetteten
geotechnischen Sensoren | 403 | 7 | Zusammenfassung | 411 |

X Risikomanagement im Tunnelbau und die Integrierte Projektentwicklung (IPA) 415

Simon Christian Becker, Konrad Bergmeister, Philip Sander

- | | | | | | |
|-------|--|-----|-------|---|-----|
| 1 | Einleitung | 419 | 4.3 | Einzelrisikobetrachtung | 440 |
| 2 | Grundlagen des Risikomanagements | 419 | 4.3.1 | Kategorisierung der Risiken | 440 |
| 2.1 | Strukturierung von Risiken
im Tunnelbau | 419 | 4.3.2 | Identifizieren von Risiken | 440 |
| 2.2 | Risikomanagement nach AHO | 420 | 4.4 | Modellierungstechniken für Spezialthemen
im Tunnelbau (z. B. Vortriebsklassen-
verschiebung und TBM Deadlock) | 442 |
| 2.3 | Risikovorsorge nach den
ÖGG-Richtlinien | 420 | 4.5 | Verknüpfung von Risiken mit
dem Terminplan | 444 |
| 2.4 | Risikovorsorge für Großprojekte | 420 | 4.6 | Risikobewältigung | 444 |
| 2.5 | Projektkosten und Budgetierung | 421 | 4.6.1 | Verfahren zur Risikobewältigung | 444 |
| 2.6 | Kostenbestandteile | 422 | 4.6.2 | Sensitivitätsanalyse und Berücksichtigung
der Risikobewältigung in der Termin-
planung | 447 |
| 2.7 | Berücksichtigung von Unsicherheiten und
Bewertung des Unbekannten | 424 | 4.7 | Vorausvalorisierung und Mittelabfluss | 448 |
| 3 | Statistische Modellierung und Integrales
Risikomanagement | 425 | 4.7.1 | Mittelabfluss | 448 |
| 3.1 | Statistische Modellierung verschiedener
Einflussfaktoren | 425 | 4.7.2 | Prognostizierte Inflationsrate | 448 |
| 3.2 | Unbekanntes | 428 | 4.8 | Allgemeine Geschäftskosten
und Gewinn | 451 |
| 3.3 | Integrale Modellierung von Kosten,
Termen und Risiken | 429 | 5 | Integrierte Projektentwicklung und das
gemeinsame Risikomanagement | 451 |
| 3.4 | Digitaler Projektrisiko-Zwilling | 430 | 5.1 | Grundlagen der Integrierten
Projektentwicklung | 451 |
| 3.5 | Ergebnisse – Auswertung
und Darstellung | 433 | 5.2 | Ablauf der IPA | 453 |
| 3.5.1 | Auswertung der Ergebnisse | 433 | 5.3 | Gemeinsames Risikomanagement | 454 |
| 3.5.2 | Darstellung der Ergebnisse | 434 | 5.4 | Zielkostenfindung und Anreiz-
gestaltung | 455 |
| 4 | Fiktives Beispiel Tunnelprojekt | 437 | 5.4.1 | Grundlagen zur Anreizgestaltung | 455 |
| 4.1 | Projektbeschreibung | 437 | 5.4.2 | Beispiel I: Anreizmechanismus
mit gedeckten HK | 455 |
| 4.2 | Basiskosten | 437 | | | |

5.4.3	Beispiel 2: Anreizmechanismus mit gedeckten AGK und HK	457	5.6	Progressiver Partnerschaftsvertrag Tiefbau	468
5.4.4	Anreizsystem mit zusätzlicher Bonusausschüttung auf die Termine	457	5.6.1	Motivation für den Progressiven Partnerschaftsvertrag Tiefbau	468
5.4.5	Anreizsystem mit zusätzlicher Bonusausschüttung auf die Qualität	458	5.6.2	Phasen des PPT	469
5.4.6	Anreizgestaltung für einen Mehrparteienvertrag	460	5.6.3	Planungsphase	469
5.5	Weitere mögliche Vergütungsformen für die IPA	461	5.6.4	Vergabephase	469
5.5.1	Diskussion weiterer Vergütungsmodelle für die IPA	461	5.6.5	Ausführungsphase und Interimsphase	469
5.5.2	Firm Fixed-Price (FFP) – Pauschalpreisvertrag	463	5.6.6	Übersicht nach Projektphasen	472
5.5.2.1	Fixed Price with Economic Price Adjustment (FPEPA)	463	5.6.7	Organisation bei dem PPT	472
5.5.2.2	Fixed-Price with Incentive Fee (FPIF)	463	5.6.8	Musterkalkulation in der Vergabephase	472
5.5.2.3	Fixed Price with Prospective Redetermination (FPRP)	463	5.6.9	Vertragsschluss ohne Bau-Soll	473
5.5.2.4	Garantierter Maximalpreis (GMP)	464	5.6.10	Einteilung in Bauabschnitte	473
5.5.3	Cost Plus Contracts – Kostenzuschlagsverträge	464	5.6.11	Projektabschlussreport	474
5.5.3.1	Cost and Cost Sharing (CS) – Kostenzuschlagsvertrag mit Kostenbeteiligung	465	5.6.12	Auswahl des Vergütungsmodells je Bauabschnitt	474
5.5.3.2	Cost-Plus Incentive Fee (CPIF) – Kostenzuschlagsvertrag mit Anreiz	465	5.6.13	Schlussbetrachtung und Ausblick zum PPT	475
5.5.3.3	Cost Plus award Fee (CPAF) – Kostenzuschlagsvertrag mit Prämienzahlung	466	5.7	Gegenüberstellung der Vortriebsdauern von Einheitspreisvertrag und Allianzvertrag	475
5.5.3.4	Cost Plus Fixed Fee (CPFF) – Kostenzuschlagsvertrag mit Gewinnaufschlag auf Selbstkosten	466	5.7.1	Gegenstand der Analyse	475
5.5.3.5	Cost Plus Percent of Cost Contracts (CPCC) – Kostenzuschlagsvertrag mit Anteil der Kosten	466	5.7.2	Motivation für die Untersuchung	475
5.5.4	Analyse und Zuordnung der Vergütungsmodelle für die IPA	467	5.7.3	Analysegegenstand	475
5.5.5	Vergütungsmodelle für die gemeinsame Entwicklung von Bauaufgabe und Zielkosten der IPA	467	5.7.4	Forschungsfragen	476
5.5.6	Vergütungsmodelle für die Realisierungsphase der IPA	468	5.7.5	Methodisches Vorgehen	476
			5.7.6	Analyse der Risiken	476
			5.7.7	Vergleich der Vertragsformen	477
			5.7.8	Ergebnisse der Studie	477
			6	Kommunikation und gesellschaftliche Interaktion	478
			6.1	Wahrnehmung von Risiken	478
			6.2	Kommunikationsarten und deren Wirkung	478
			6.2.1	Wirkung der Kommunikation	479
			7	Zusammenfassung und Ausblick	481

XI Windenergieanlagen in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise 487
 Jürgen Grünberg, Joachim Göhlmann, Vincent Oettel, Boso Schmidt, Hendrik Bock

1	Allgemeines	489	3.3	Biegemoment-Verkrümmungs-Beziehungen	505
2	Einwirkungen auf Windenergieanlagen	490	3.3.1	Stahlbetonquerschnitte allgemein	505
2.1	Ständige Einwirkungen	490	3.3.2	Spannbetonquerschnitte allgemein	505
2.2	Anlagenbetrieb (Rotor und Gondel)	490	3.3.3	Stahlbeton-Kreisringquerschnitte	506
2.3	Windlasten	490	3.4	Verformungen und Biegemomente nach Theorie II. Ordnung	508
2.4	Temperatureinwirkungen	500	3.5	Beispiel zur Anwendung der Momenten-Verkrümmungs-Beziehung	509
2.5	Vereisung von Bauteilen	500	3.5.1	Ortbetonturm	509
3	Nichtlineares Werkstoffverhalten	501	3.5.2	Fertigteilturm	511
3.1	Einführung	501	3.5.3	Fertigteilturm mit vertikalen Fugen	513
3.2	Stoffgesetze für Stahlbeton und Spannbeton	502			

- 3.6 Querschnittsbemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit 513
- 3.7 Räumliche mechanische Modelle für Beton 515
- 3.7.1 Spannungszustände und Bruchbedingungen 515
- 3.7.2 Versagensmodelle für Beton 516
- 3.7.3 Konstitutive Modelle 518
- 4 Tragkonstruktionen und Bemessung 518
- 4.1 Berechnungsgrundlagen 518
- 4.2 Strukturmodell für den Turmschaft 518
- 4.3 Schwingungsuntersuchung 520
- 4.3.1 Ein- und Mehrmassenschwinger 520
- 4.3.2 Energiemethode 521
- 4.3.3 Eigenfrequenzuntersuchung der Tragkonstruktion 523
- 4.4 Vorspannung 524
- 4.5 Auslegung von Windenergieanlagen 526
- 4.5.1 Gesamtdynamische Berechnung 526
- 4.5.2 Vereinfachte Berechnung 526
- 4.5.3 Einwirkungskombinationen nach DIBt-Richtlinie 527
- 4.5.4 Teilsicherheitsbeiwerte nach DIBt-Richtlinie 527
- 4.6 Grenzzustand der Tragfähigkeit 530
- 4.6.1 Verformungsberechnung nach Theorie II. Ordnung 530
- 4.6.2 Lineare Berechnung der Schnittgrößen 532
- 4.6.3 Nachweis der Spannungen im Turmschaft 532
- 4.6.4 Besonderheiten bei der Segmentbauweise 533
- 4.7 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 538
- 4.7.1 Beanspruchung des Turmschafts durch äußere Einwirkungen 538
- 4.7.2 Beanspruchung der Schaftwand durch Zwang 538
- 4.7.3 Besonderheiten bei der Segmentbauweise 539
- 4.8 Grenzzustand der Ermüdung 539
- 4.8.1 Ermüdungswirksame Einwirkungen auf Tragkonstruktionen für Windenergieanlagen 539
- 4.8.2 Ermüdungsnachweise nach der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen 541
- 4.8.2.1 Vereinfachte Nachweise für Beton 541
- 4.8.2.2 Direkter Nachweis nach DIBt-Richtlinie 543
- 4.8.3 Ermüdungsnachweise nach DIN 18088-2 für Windenergieanlagen 544
- 4.8.3.1 Vereinfachter Nachweis für Beton 544
- 4.8.3.2 Direkter Nachweis für Beton 546
- 4.8.4 Mehrstufige Ermüdungsbeanspruchungen 547
- 4.8.5 Bruchschwingspielzahlen für mehraxiale Ermüdungsbeanspruchungen 547
- 4.8.5.1 Vorgehen 547
- 4.8.5.2 Ableitung der Schädigungsvariablen κ_c^{fat} und κ_t^{fat} 549
- 4.8.5.3 Bruchumhüllende unter Ermüdungsbeanspruchung 551
- 4.8.5.4 Versagenskurven unter zweiaxialer Ermüdungsbeanspruchung 551
- 4.8.6 Bemessungsvorschlag bei mehraxialer Ermüdung 555
- 4.8.6.1 Vorgehen bei der Bemessung auf Basis der linearen Akkumulationshypothese 555
- 4.8.6.2 Herleitung von Modifikationsfaktoren $\lambda_{c3}(N, r)$ für Ermüdungsbeanspruchungen am Druckmeridian 555
- 4.8.6.3 Herleitung von Modifikationsfaktoren $\lambda_{c2}(N, \alpha)$ für zweiaxiale Ermüdungsbeanspruchung 557
- 4.9 Bemessung von Knotenpunkten 559
- 4.10 Bemessung der Gründung 563
- 5 Herstellung von Türmen aus Spannbeton 565
- 5.1 Einleitung 565
- 5.2 Hybride Tragwerke aus Stahl und Spannbeton 565
- XII Oberflächennahe Geothermie 571**
Christian Moormann, Till Kugler
- 1 Überblick 573
- 1.1 Einführung 573
- 1.2 Begriffserklärung Geothermie 573
- 1.2.1 Tiefe Geothermie 574
- 1.2.2 Mitteltiefe Geothermie 574
- 1.2.3 Oberflächennahe Geothermie 574
- 2 Physikalische Grundlagen 576
- 2.1 Wärmetransportvorgänge in Böden 576
- 2.1.1 Konduktion 576
- 2.1.2 Konvektion (freie vs. erzwungene) 576
- 2.1.3 Strahlung (Radiation) 579
- 2.1.4 Dispersion 579
- 2.1.5 Wärmetransportgleichung 579
- 2.2 Thermische Eigenschaften von Böden 580
- 2.2.1 Idealisierung und Annahmen 580
- 2.2.2 Wärmekapazität 581
- 2.2.3 Wärmeleitfähigkeit 582
- 2.2.4 Temperaturleitfähigkeit 583
- 3 Systeme der oberflächennahen Geothermie 587
- 3.1 Einleitung 587

3.2	Technische Baugrundausrüstung (TBA) 588	6	Geothermische Exploration und Bemessung 618
3.2.1	Geschlossene Systeme 588	6.1	Einleitung 618
3.2.2	Offene Systeme 597	6.2	Geschlossene Anlagen 618
3.2.3	Wärmeträgermedium 599	6.2.1	Erdwärmesonden 618
3.3	Technische Gebäudeausrüstung 599	6.2.1.1	Geothermal Response Test (TRT) 618
3.4	Wärmepumpe 600	6.2.1.2	Thermischer Bohrlochwiderstand 620
3.5	Optimale Betriebsweisen 601	6.2.1.3	Bemessung 620
4	Beispiele 604	6.2.2	Erdwärmekollektoren 621
4.1	Hans Rehn Stift, Erdwärmesonden 604	6.2.3	Erdwärmekorb 622
4.2	Geothermische Versorgung von Park- und Rastanlagen an Autobahnen 605	6.2.4	Energiepfahl 622
4.3	Tunnelgeothermie Fasanenhoftunnel 606	6.3	Offene Anlagen – Grundwasserbrunnen 622
4.4	Aktivierung Mixed-in-Place 607	7	Herstellung und Betrieb 622
4.5	Tunnelgeothermie Füssen, direkte passive Freiflächenheizung 608	7.1	Bohrverfahren 622
4.5.1	Überblick 608	7.2	Einbau der Wärmetauscher in den Untergrund 623
4.5.2	Technikum „Temperierte Freifläche“ 608	7.3	Horizontale Anbindung 625
4.5.3	Erfahrungen aus dem Betrieb des Technikums 613	7.4	Direkte Grundwassernutzung 625
5	Planung und Projektablauf 615	8	Rechtliche und politische Rahmenbedingungen 625
5.1	Grundlagenermittlung 616	8.1	Bundesberggesetz (BBergG) 626
5.2	Vorplanung 616	8.2	Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Wassergesetze der Länder (WG) 627
5.3	Entwurfsplanung 617	8.3	Bodenschutzrecht 627
5.4	Genehmigungsplanung 617	8.4	Lagerstättengesetz 627
5.5	Ausführungsplanung 617	8.5	Weitere rechtliche Vorgaben 627
5.6	Vorbereitung der Vergabe 617	8.6	Technische Regelwerke und Empfehlungen 627
5.7	Mitwirkung bei der Vergabe 617		
5.8	Objektüberwachung (Bauüberwachung oder Bauoberleitung) 617		
5.9	Objektbetreuung und Dokumentation 618		
XIII	Erläuterungen zur neuen DIN 1045-1000 und DIN 1045-1 – Betonbauqualität (BBQ) 633 Rolf Breitenbücher, Frank Fingerloos, Josef Hegger, Udo Wiens		
1	Konzept für eine verbesserte Betonbauqualität – Anlass und Motivation 635	2	Erläuterungen zu DIN 1045-1000 637
1.1	Die Ausgangssituation 635	2.1	Einführung 637
1.2	Die Initiative des DAfStb zur Verbesserung der Qualität im Betonbau 635	2.2	Die BBQ-Klassen 637
1.3	Die aktuelle Struktur der DIN-1045-Normenreihe 636	2.3	Die Betonfachgespräche 639
		2.4	Das Betonbaukonzept 640
		3	Erläuterungen zu DIN 1045-1 641
		3.1	Einführung 641
		3.2	Die Planungsklassen PK 641
XIV	Beton 649 Frank Dehn, Udo Wiens		
1	Einführung und Definition 653	2	Ausgangsstoffe 663
1.1	Allgemeines 653	2.1	Zement 663
1.2	Definition 653	2.1.1	Arten und Zusammensetzung 663
1.3	Klassifizierung von Beton 656	2.1.2	Bautechnische Eigenschaften 667
1.3.1	Betonarten 656	2.1.3	Bezeichnung, Lieferung und Lagerung 669
1.3.2	Betonbauqualitätsklassen und Betonklassen 656	2.1.4	Anwendungsbereiche 670
1.3.3	Betonfamilie 662	2.1.5	Zemthydratation 674
		2.1.6	Der Zementstein 674

- 2.2 Gesteinskörnungen für Beton 677
 - 2.2.1 Allgemeines 677
 - 2.2.2 Art und Eigenschaften des Gesteins 678
 - 2.2.3 Schädliche Bestandteile 679
 - 2.2.4 Kornform und Oberfläche 683
 - 2.2.5 Größtkorn und Kornzusammensetzung 683
- 2.3 Betonzusatzmittel 686
 - 2.3.1 Definition 686
 - 2.3.2 Arten von Betonzusatzmitteln 686
 - 2.3.3 Anwendungsregeln für Betonzusatzmittel 689
- 2.4 Betonzusatzstoffe 690
 - 2.4.1 Definitionen 690
 - 2.4.2 Inerte Stoffe und Pigmente 690
 - 2.4.3 Puzzolanische Stoffe 691
 - 2.4.4 Latent-hydraulische Stoffe 696
 - 2.4.5 Kunststoffdispersionen 697
 - 2.4.6 Fasern 697
- 2.5 Zugabewasser 697
- 3 Frischbeton und Nachbehandlung 697
 - 3.1 Allgemeine Anforderungen 697
 - 3.2 Mehlkorngelalt 698
 - 3.3 Rohdichte und Luftgehalt 698
 - 3.4 Verarbeitbarkeit und Konsistenz 699
 - 3.5 Transport und Einbau 701
 - 3.6 Entmischen 703
 - 3.7 Nachbehandlung 705
 - 3.7.1 Nachbehandlungsarten 705
 - 3.7.2 Dauer der Nachbehandlung 706
 - 3.7.3 Zusätzliche Schutzmaßnahmen 708
- 4 Junger Beton 708
 - 4.1 Bedeutung und Definition 708
 - 4.2 Hydratationswärme 708
 - 4.3 Verformungen 709
 - 4.4 Dehnfähigkeit und Rissneigung 709
 - 4.5 Bestimmung der Festigkeit von jungem Beton 711
- 5 Lastunabhängige Verformungen 711
 - 5.1 Allgemeines 711
 - 5.2 Temperaturdehnung 712
 - 5.3 Schwinden 713
 - 5.3.1 Ursachen 713
 - 5.3.2 Mathematische Beschreibung 714
- 6 Festigkeit und Verformung von Festbeton 715
 - 6.1 Strukturmerkmale 715
 - 6.2 Druckfestigkeit 716
 - 6.2.1 Spannungszustand und Bruchverhalten von Beton bei Druckbeanspruchung 716
 - 6.2.2 Einflüsse auf die Druckfestigkeit 716
 - 6.2.2.1 Ausgangsstoffe und Betonzusammensetzung 716
 - 6.2.2.2 Erhärtungsbedingungen und Reife 718
 - 6.2.2.3 Prüfeinflüsse 721
 - 6.2.3 Festigkeitsklassen 722
- 6.3 Zugfestigkeit 722
 - 6.3.1 Bruchverhalten und Bruchenergie 722
 - 6.3.2 Einflüsse auf die Zugfestigkeit 723
 - 6.3.3 Zentrische Zugfestigkeit 723
 - 6.3.4 Biegezugfestigkeit 724
 - 6.3.5 Spaltzugfestigkeit 724
 - 6.3.6 Verhältniszahlen für Druck- und Zugfestigkeit 724
- 6.4 Festigkeit bei mehrachsiger Beanspruchung 725
 - 6.5 Spannungs-Dehnungsbeziehungen 726
 - 6.5.1 Elastizitätsmodul und Querdehnzahl 726
 - 6.6 Einfluss der Zeit auf Festigkeit und Verformung 727
 - 6.6.1 Die zeitliche Entwicklung von Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul 727
 - 6.6.2 Verhalten bei Dauerstandsbeanspruchung 728
 - 6.6.3 Zeitabhängige Verformungen 728
 - 6.6.3.1 Definitionen 728
 - 6.6.3.2 Kriechverhalten von Beton 729
 - 6.6.3.3 Vorhersageverfahren 731
 - 6.6.4 Verhalten bei dynamischer Beanspruchung 732
 - 6.6.5 Ermüdung 733
 - 6.7 Brandverhalten 737
- 7 Dauerhaftigkeit 737
 - 7.1 Überblick über die Umweltbedingungen, Schädigungsmechanismen und Mindestanforderungen 738
 - 7.2 Widerstand gegen das Eindringen aggressiver Stoffe 745
 - 7.3 Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton 746
 - 7.3.1 Allgemeine Anforderungen 746
 - 7.3.2 Karbonatisierung 747
 - 7.3.3 Eindringen von Chloriden 749
 - 7.4 Frostwiderstand und Frost-Taumittelwiderstand 751
 - 7.5 Widerstand gegen chemische Angriffe 753
 - 7.6 Verschleißwiderstand 754
 - 7.7 Feuchtigkeitsklassen nach DAfStb-Alkali-Richtlinie 755
 - 7.8 Wassereindringwiderstand 756
- 8 Selbstverdichtender Beton 756
 - 8.1 Allgemeines 756
 - 8.2 Mischungsentwurf 756
 - 8.3 Prüfungen am Mörtel 757
 - 8.4 Prüfungen am Beton 758
 - 8.5 Eigenschaften 760
 - 8.6 Normative Anmerkungen 761
- 9 Sichtbeton 761
 - 9.1 Einführung 761
 - 9.2 Planung und Ausschreibung 761
 - 9.3 Betonzusammensetzung und Betonherstellung 762

- 9.4 Einbau und Nachbehandlung 763
 - 9.4.1 Schalung und Trennmittel 763
 - 9.4.2 Ausführung und Nachbehandlung 764
- 9.5 Beurteilung 764
- 9.6 Mängel und Mängelbeseitigung 764
 - 9.6.1 Sichtbetonmängel 764
 - 9.6.2 Mängelbeseitigung bei Sichtbeton 765
- 9.6.3 Architektonisch bedeutsame Bausubstanz 766
- 9.7 Sonder-Sichtbetone 766
- 10 Leichtbeton 767
 - 10.1 Einführung und Überblick 767
 - 10.2 Konstruktionsleichtbeton nach DIN EN 1992-1-1 768
 - 10.2.1 Grundlegende Eigenschaften 768
 - 10.2.2 Leichte Gesteinskörnung 769
 - 10.2.3 Betonzusammensetzung 770
 - 10.2.4 Herstellung, Transport und Verarbeitung 772
 - 10.2.5 Festbetonverhalten von Konstruktionsleichtbeton 773
 - 10.2.6 Zur Planung von Bauwerken aus Konstruktionsleichtbeton 776
 - 10.2.7 Selbstverdichtender Konstruktionsleichtbeton 777
 - 10.3 Porenbeton 778
 - 10.4 Haufwerksporiger Leichtbeton 779
- 11 Faserbeton 780
 - 11.1 Allgemeines 780
 - 11.2 Zusammenwirken von Fasern und Matrix 781
 - 11.2.1 Ungerissener Beton 781
 - 11.2.2 Gerissener Beton 782
 - 11.3 Fasern 787
 - 11.3.1 Stahlfasern 788
 - 11.3.2 Glasfasern 788
 - 11.3.3 Organische Fasern 788
 - 11.3.3.1 Kunststofffasern (Polymerfasern) 789
 - 11.3.3.2 Kohlenstofffasern 789
 - 11.3.3.3 Fasern natürlicher Herkunft – Zellulosefasern 790
 - 11.4 Zusammensetzung 790
 - 11.4.1 Beton 790
 - 11.4.2 Fasern 790
 - 11.5 Eigenschaften 791
 - 11.5.1 Verhalten bei Druckbeanspruchung 791
 - 11.5.2 Verhalten bei Zugbeanspruchung und bei Biegebeanspruchung 791
 - 11.5.3 Verhalten bei Querkraft- und Torsionsbeanspruchung 792
 - 11.5.4 Verhalten bei Explosions-, Schlag- und Stoßbeanspruchung 792
 - 11.5.5 Kriechen und Schwinden 792
 - 11.5.6 Dauerhaftigkeit 793
 - 11.5.7 Frost- und Taumittel-Widerstand 793
 - 11.5.8 Verhalten bei hoher Temperatur 793
 - 11.5.9 Verschleißwiderstand 794
- 11.6 Normen und Grundlagen 794
- 12 Ultrahochfester Beton 794
- 13 Carbonbeton 794
- 14 Betone unter Verwendung von Geopolymeren und alkalisch-aktivierten Bindemitteln 796
- 15 Nachhaltigkeit im Betonbau 798
 - 15.1 Einführung 798
 - 15.2 Nachhaltigkeitsbewertung 799
 - 15.3 Klinkereffiziente Zemente 799
 - 15.4 Ökobetone 800
 - 15.5 Neue Bindemittel 801
- 16 Betonrecycling 802
 - 16.1 Allgemeines 802
 - 16.2 Rezyklierte Gesteinskörnungen aus Betonbruch 802
 - 16.3 Betonbrechsande als Bindemittelkomponente 805
 - 16.4 Frischbetonrecycling 806
- 17 Numerische Simulation des Betonverhaltens 806
- 18 Normative Entwicklungen und neue Richtlinien 808
 - 18.1 Dauerhaftigkeitskonzept im neuen Eurocode 2 – Expositions-Widerstandsklassen 808
 - 18.1.1 Allgemeines 808
 - 18.1.2 Expositions-Widerstandsklassen nach neuem Eurocode 2 809
 - 18.1.3 Umsetzung in Deutschland 810
 - 18.2 Neue DAfStb-Richtlinien 811
 - 18.2.1 Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung 812
 - 18.2.2 Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton 812
 - 18.2.2.1 Einordnung der Richtlinie in den Rahmen von EN 1990 und einschlägigen Klimaschutzzielen 812
 - 18.2.2.2 Konkrete Zielsetzungen der Richtlinie 813

XV Die neue DIN 1045-3 „Bauausführung“ mit ihren wesentlichen Änderungen 831

Roland Pickhardt, Thomas Richter

- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| 1 | Regelwerksstand alt und neu – formale Änderungen 833 | 6 | Bewehren 843 |
| 2 | Maßgebliche Änderungen im Überblick 833 | 7 | Vorspannen 844 |
| 3 | Umsetzung der Betonbauqualitätsklassen BBQ auf der Baustelle 834 | 8 | Betonieren und Oberflächenbearbeitung 844 |
| 3.1 | Ausführungsklassen (AK) und Betonbauqualitätsklassen (BBQ) 834 | 8.1 | Überblick 844 |
| 3.2 | BBQ-Ausführungsgespräche – Startgespräch und Bauverlaufsgespräche 835 | 8.2 | Vorbereitende Arbeiten und Betonannahme 844 |
| 3.3 | Maßnahmen und Anforderungen in Abhängigkeit der Ausführungsklasse 836 | 8.3 | Fördern, Einbringen, Verdichten 845 |
| 4 | Qualitätssicherung und Überwachung 838 | 8.4 | Nachbehandlung und Schutz des Betons 845 |
| 4.1 | Überwachungsklassen 838 | 8.5 | Oberflächenbearbeitung und Sichtflächen 848 |
| 4.2 | Überwachung des Betons und seines Einbaus – Anhänge 838 | 9 | Fugen 848 |
| 5 | Traggerüste und Schalungen 843 | 10 | Bauen mit vorgefertigten Bauteilen 849 |
| | | 11 | Maßtoleranzen 849 |

XVI Beton im Tunnelbau 851

Rolf Breitenbücher, Sven Plückelmann

- | | | | |
|---------|---|---------|---|
| 1 | Einleitung 855 | 4.4.2 | Frischbeton im Nassspritzverfahren 866 |
| 2 | Aktuelle Regelwerke 855 | 4.4.3 | Junger Spritzbeton – Frühfestigkeit 866 |
| 3 | Grundsätzliche Anforderungen an Tunnelauskleidungen 855 | 4.4.3.1 | Klassifizierung und Einflüsse 866 |
| 4 | Spritzbeton im Tunnelbau 857 | 4.4.3.2 | Ermittlung der Frühfestigkeit 868 |
| 4.1 | Grundsätze 857 | 4.4.4 | Festbetoneigenschaften 869 |
| 4.2 | Verfahren 859 | 4.4.4.1 | Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul 869 |
| 4.2.1 | Trockenspritzverfahren 859 | 4.4.4.2 | Probenahmen für Festbetonprüfungen, Überwachung von Spritzbeton 870 |
| 4.2.2 | Nassspritzverfahren 860 | 4.4.4.3 | Dauerhaftigkeit – Expositionsklassen 871 |
| 4.3 | Ausgangsstoffe 860 | 4.4.4.4 | Versinterungspotenzial 871 |
| 4.3.1 | Gesteinskörnung 860 | 4.4.5 | Rückprall 872 |
| 4.3.2 | Bindemittel 861 | 4.4.6 | Faserspritzbeton 874 |
| 4.3.2.1 | Normzemente (EN 197) 861 | 4.4.7 | Hinweise zu weiteren spezifischen Spritzbetoneigenschaften 875 |
| 4.3.2.2 | Spritzbindemittel nach ÖVBB-Richtlinie „Spritzbeton“ bzw. DIN 1164-11 862 | 4.4.8 | Einflüsse auf die maßgebenden Spritzbetoneigenschaften 877 |
| 4.3.3 | Betonzusatzstoffe 862 | 4.5 | Empfehlungen zur Wahl der Ausgangsstoffe und Zusammensetzungen 878 |
| 4.3.3.1 | Puzzolanische/latent-hydraulische Zusatzstoffe (Typ II) 862 | 5 | Bergmännische Bauweise 880 |
| 4.3.3.2 | Inerte Betonzusatzstoffe (Typ I) 863 | 5.1 | Bauteile 880 |
| 4.3.4 | Betonzusatzmittel 863 | 5.2 | Sohlgewölbe und Sohlplatten 880 |
| 4.3.4.1 | Fließmittel/Betonverflüssiger 863 | 5.3 | Innenschalen 881 |
| 4.3.4.2 | Luftporenbildner/Mikrohohlkugeln 864 | 5.3.1 | Anforderungen 881 |
| 4.3.4.3 | Erstarrungsverzögerer 864 | 5.3.1.1 | Generelle Anforderungen 881 |
| 4.3.4.4 | Konsistenzregler 864 | 5.3.1.2 | Verminderung der Rissbildung 881 |
| 4.3.4.5 | Erstarrungsbeschleuniger 864 | 5.3.1.3 | Ausschalfestigkeit 884 |
| 4.3.4.6 | Rückprallminderer 864 | 5.3.1.4 | Frischbetontemperatur 885 |
| 4.3.4.7 | Zusammenwirken von mehreren Betonzusatzmitteln 865 | 5.3.1.5 | Druckfestigkeit 886 |
| 4.4 | Anforderungen, Eigenschaften, Klassifizierung, Maßnahmen 866 | 5.3.1.6 | Verarbeitbarkeit 886 |
| 4.4.1 | Allgemeines 866 | 5.3.2 | Ausgangsstoffe 886 |
| | | 5.3.2.1 | Gesteinskörnung 886 |
| | | 5.3.2.2 | Zement 887 |

5.3.2.3	Betonzusatzstoffe und -zusatzmittel	887	7.5.3	Wärmebehandlung	900
5.3.3	Betonzusammensetzung	888	7.5.4	Faserbeton	901
5.3.4	Verarbeitung	889	7.6	Bewehrung von Tübbing	902
5.3.5	Nachbehandlung	890	7.6.1	Stahlbetontübbinge	902
5.3.6	Firstspaltverpressung	890	7.6.1.1	Allgemeines	902
5.3.7	Betone für besondere Anwendungen	891	7.6.1.2	Betondeckung	902
5.3.7.1	Betone mit wasserundurchlässigem Gefüge	891	7.6.1.3	Flächenbewehrung	903
5.3.7.2	Chemischer Angriff	891	7.6.1.4	Fugenbewehrung	903
5.3.7.3	Frostangriff mit/ohne Taumittel – Verwendung von Luftporenbeton	892	7.6.1.5	Bewehrungsgehalt	903
5.3.7.4	Brandschutz	893	7.6.2	Stahlfaserbetontübbinge	903
5.3.7.5	Faserbeton	894	7.6.3	Hybride Tübbinge	903
5.3.7.6	Helle Tunnelinnenschalen	894	7.7	Nachgiebige Tübbingsysteme für druckhaftes Gebirge	904
6	Offene Bauweise – Tunnelschalen	895	7.7.1	Allgemeines	904
7	Maschineller Schildvortrieb – Tübbinge	895	7.7.2	Materialtechnologie	904
7.1	Grundsätzliche Bauweisen	895	8	Ringspaltmörtel	906
7.2	Ring- und Tübbinggeometrie	896	8.1	Aufgabe des Ringspaltmörtels	906
7.3	Grundanforderungen an Tübbinge	896	8.2	Differenzierung von Ringspaltmörteln	906
7.4	Herstellung von Tübbing	898	8.3	Anforderungen an Ringspaltmörtel	907
7.5	Betontechnologie für Tübbinge	899	8.4	Technologie der Einkomponenten-Ringspaltmörtel	908
7.5.1	Grundsätze für die Betonzusammensetzung und Anforderungen	899	8.5	Zweikomponenten-Ringspaltmörtel	910
7.5.2	Betonausgangsstoffe und Betonzusammensetzung	899	8.6	Ringspaltverfüllungen	912
			8.7	Stauchfähige Ringspaltmörtel	912

XVII Renaissance der calcinierten Tone – Herausforderungen und Leistungsfähigkeit von klinkerarmen Betonen der Zukunft 923

Nancy Beuntner, Julian Link, Steffen Overmann, Christiane Rößler, Corinna Rozanski, Tobias Schack, Sebastian Scherb, Thomas Sowoidnich, Ricarda Sposito, Torben Gädt, Michael Haist, Horst-Michael Ludwig, Thomas Matschei, Karl-Christian Thienel

1	Einleitung	925	6.2	Festigkeitsentwicklung	940
2	Historie und aktuelle Anwendungen von calcinierten Tonen	926	6.3	Wechselwirkung mit Betonzusatzmitteln	942
3	Tone und Tonminerale	926	6.4	Verformungsverhalten	944
4	Herstellung calcinierter Tone	927	6.4.1	Schwinden	944
5	Eigenschaften calcinierter Tone im zementären System	929	6.4.2	Kriechen	946
5.1	Reaktivität calcinierter Tone	929	6.5	Dauerhaftigkeit	948
5.2	Physikalische Charakteristika calcinierter Tone und ihr Einfluss auf rheologische Eigenschaften von Bindemittelsystemen	930	6.5.1	Gefügebrauformung und Porosität von Systemen mit calcinierten Tonen	948
5.3	Hydratation und Gefügeentwicklung	932	6.5.2	Expositionen und Dauerhaftigkeitspotenzial der calcinierten Tone	950
5.3.1	Interaktion mit der frühen Zementhydratation	932	7	Normative Regelungen zum Einsatz und zur Prüfung calcinierter Tone	956
5.3.2	Puzzolanische Reaktion und Phasenentwicklung	934	7.1	Calcinierte Tone als Betonzusatzstoff	956
5.3.3	Mikrostruktur (und Gefügeentwicklung)	935	7.2	Calcinierte Tone als Zementhauptbestandteil	956
6	Baustoffeigenschaften von Mörteln und Betonen mit calcinierten Tonen	938	8	Prüfung der Reaktivität calcinierter Tone	957
6.1	Rheologie und Verarbeitbarkeit	938	9	Ökobilanz beim Einsatz calcinierter Tone	957
			10	Zusammenfassung und Ausblick	959

XVIII Normen und Regelwerke 973

Frank Fingerloos

- 1 Einleitung 977
- 2 Listen und Verzeichnisse 977
- 2.1 Technische Baubestimmungen für den Beton- und Stahlbetonbau 977
- 2.2 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): Richtlinien und Hefte 1000
- 2.3 Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV): Merkblätter, Sachstandberichte und Hefte 1003
- 2.4 Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV): Richtlinien, Merkblätter und Sachstandberichte 1006
- 3 DIN 1045-1000: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1000: Grundlagen und Betonbauqualitätsklassen (BBQ) 1009
- Vorwort 1009
- 1 Anwendungsbereich 1009
- 2 Normative Verweisungen 1010
- 3 Begriffe 1010
- 3.1 Betonbaukonzept, vorläufiges Betonbaukonzept 1011
- 3.2 Betonbauqualitätsklasse BBQ 1011
- 3.3 Betonfachgespräche 1011
- 3.4 Planungsklasse PK 1011
- 3.5 Betonklasse BK 1011
- 3.6 Ausführungsklasse AK 1011
- 3.7 BBQ-Phase 1011
- 3.8 Dokumentation 1011
- 3.9 fachkundige Person 1011
- 3.10 BBQ-Koordinator 1011
- 3.11 Federführende 1012
- 3.12 Fertigteil, Betonfertigteil 1012
- 3.13 Kommunikation 1012
- 4 Festlegung von Betonbauqualitätsklassen 1012
- 5 Maßnahmen zur Sicherstellung der Betonbauqualität 1013
- 5.1 Allgemeines 1013
- 5.2 Anforderungen an die Kommunikation 1016
- 5.3 Festlegungen und technische Anforderungen 1017
- 5.4 Kenntnisse in der Betonbautechnik 1017
- A Anhang A (normativ)
Kommunikation im Rahmen der Qualitätssicherung für die Errichtung von Betonbauwerken in den Klassen BBQ-E und BBQ-S 1017
- A.1 Allgemeines 1017
- A.2 Bauwerke in Ortbetonbauweise 1017
- A.2.1 BBQ-Ausschreibungsgespräch 1017
- A.2.1.1 Aufgaben 1017
- A.2.1.2 Teilnehmer 1017
- A.2.2 BBQ-Ausführungsgespräche – Startgespräch 1018
- A.2.2.1 Aufgaben 1018
- A.2.2.2 Teilnehmer 1018
- A.2.3 BBQ-Ausführungsgespräche – Bauverlaufgespräche 1018
- A.2.3.1 Aufgaben 1018
- A.2.3.2 Teilnehmer 1018
- A.2.4 Dokumentation 1020
- A.3 Fertigteilbauweise 1020
- A.3.1 Allgemeines 1020
- A.3.2 Aufgaben und Zuständigkeiten 1020
- 4 DAfStb-Richtlinie Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten 1022
- Einführung 1022
- Teil 1: Planung, Bemessung und Ausführung von Betondecken/-dächern mit Stahlbetonhohlplatten 1022
- Vorwort zu Teil 1 dieser Richtlinie 1022
- 1 Anwendungsbereich 1023
- 2 Normative Verweisungen und Literatur 1023
- 3 Baustoffe 1023
- 4 Querschnitte 1023
- 4.1 Anwendungsgrenzen 1023
- 4.2 Erfahrungsbereich für die Anwendung von Stahlbetonhohlplatten in Betondecken und -dächern mit einem Hohlraumseitenverhältnis $b_0/h_0 \leq 1$ 1023
- 4.3 Erweiterte Anwendungsgrenzen bei einem Hohlraumseitenverhältnis $b_0/h_0 > 1$ 1024
- 5 Fugenausbildung 1024
- 6 Anordnung einer Querkraftbewehrung 1024
- 7 Bemessung und Detaillierung der unteren Querbewehrung 1024
- 8 Beurteilung der Notwendigkeit von ergänzender Stegbewehrung 1024
- 9 Durchbiegungen 1024
- 10 Brandfall 1025
- Teil 2: Planung, Bemessung und Ausführung von Betondecken/-dächern mit Spannbetonhohlplatten 1025
- Vorwort zu Teil 2 dieser Richtlinie 1025
- 1 Anwendungsbereich 1025
- 2 Normative Verweisungen und Literatur 1026
- 3 Baustoffe 1026
- 4 Erforderliche Nachweise 1026
- 4.1 Allgemeines 1026
- 4.2 Grundlagen der Nachweisführung 1027

- 4.3 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Biegung 1027
- 4.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Querkraft 1027
 - 4.4.1 Allgemeines 1027
 - 4.4.2 Starre Lagerung 1027
 - 4.4.3 Biege weiche Auflagerung 1029
- 4.5 Nachweis der Stirnzugspannungen (Einleitung der Vorspannkraft) 1032
- 4.6 Begrenzung der Druckspannungen im Beton 1032
- 4.7 Begrenzung der Spannungen im Spannstahl 1032
- 4.8 Nachweis zur Begrenzung der Rissbreite unter Ansatz der Spannstahlbewehrung 1032
- 4.9 Nachweis zur Begrenzung der Verformungen 1032
- 4.10 Nachweise zum Tragverhalten unter Brandeinwirkung 1032
- 4.11 Nachweis der Querdruckspannungen aus Wandaufflasten und Randeinspannungen 1033
- 4.12 Nachweis der Querverteilung (Lastverteilungsbreite, Fugenscherkräfte) 1033
- 4.13 Begrenzung der Betonzugspannungen aus Querbiege- und Drillmomenten 1034
- 4.14 Scheibenausbildung durch Ringanker 1034
- 4.15 Konstruktive Durchbildung – Mindestbetondeckung und Achsabstände 1034
- 4.16 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit 1035
- 4.17 Dauerhaftigkeit 1035
- 5 Bestimmungen für die Ausführung 1035
 - A Anhang A – Bestimmung von Querschnittsparametern für die Bemessung von Betondecken und -dächern bei biege weicher Auflagerung nach dieser Richtlinie 1036
 - A.1 Bezogener Querbiegesteifigkeitsparameter $i_{sl,q}$ und Querbiegesteifigkeit $E I_{sl,q}$ 1036
 - A.2 Schubspannungen infolge Querschub 1036
 - B Anhang B – Optionale Prüfung der Zugfestigkeit der Plattenstege 1037
 - C Anhang C – Biegezugfestigkeit der unteren Plattenspiegel 1038

Teil 3: Allgemeine Anforderungen 1039

Vorwort zu Teil 3 dieser Richtlinie 1039

- 1 Anwendungsbereich 1039
- 2 Normative Verweisungen 1039
- 3 Anforderungen für die Verwendung in baulichen Anlagen 1039
- 4 Technische Dokumentation 1039
 - 5 Überwachung 1041
 - 5.1 Allgemeine Überwachung 1041
 - 5.2 Überwachung der Prüfungen der Zugfestigkeit der Plattenstege 1041

Stichwortverzeichnis 1043

Autor:innenverzeichnis

Alsahly, Abdullah, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium Universität Damaskus, 2011–2023 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum, 2017 Promotion am Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität Bochum, 2018–2023 Postdoc und Gruppenleiter am Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität Bochum, seit 2018 Gründer des Ingenieurbüros Alsahly Consulting & Engineering.

Alsahly Consulting & Engineering,
Konrad-Zuse-Straße 18, 44801 Bochum

Becker, Simon Christian, M.Sc.

Bauingenieurstudium an der HS RheinMain Wiesbaden und der TU Darmstadt, seit 2021 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der UniBw München, seit 2024 Lehrbeauftragter an der IU Internationale HS München und weitere Nebentätigkeiten in der Beratung von Großprojekten und Digitalisierung.

Universität der Bundeswehr München, Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85579 Neubiberg

Behnen, Gereon, Dipl.-Ing. (Univ.)

Bauingenieurstudium TU Berlin und TUM, seit 1988 Technischer Projektleiter und Planungsleiter bei Dywidag, Walter Bau-AG vereinigt mit Dywidag, Bilfinger Berger AG und im Ingenieurbüro Büchting + Streit AG (seit 2011), seit 2012 Lehrbeauftragter an der TUM, Vertiefungsstudium Tunnelbau.

Büchting + Streit AG, Gunzenlehstraße 22–24,
80689 München

Bergmeister, Konrad, o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. phil. DDr.-Ing. E. h. M.Sc. PhD

Bauingenieurstudium und Promotion Universität Innsbruck, Forschungsaufenthalte an Univ. of Texas at Austin, Kath. Univ. of Leuven, Univ. Stuttgart, seit 1990 als Bauingenieur tätig, seit 1993 Universitätsprofessor am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Wien.

Universität für Bodenkultur, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Peter-Jordan-Str. 82,
1190 Wien/Österreich

Beuntner, Nancy, Dr.-Ing.

Studium des Bauingenieurwesens mit Schwerpunkt Baustoffe und Sanierung an der Bauhaus Universität

Weimar, 2002–2008 Mitarbeiterin der Rohrdorfer Baustoffgruppe, ab 2009 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Werkstoffe des Bauwesens der Universität der Bundeswehr München, seit 2013 wissenschaftliche Laborleiterin, 2017 Promotion.

Universität der Bundeswehr München, Institut für Werkstoffe des Bauwesens,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85579 Neubiberg

Bock, Hendrik, M.Sc.

2012–2018 Bauingenieurstudium Leibniz Universität Hannover, seit 2018 Tragwerksplaner im Fachbereich Ingenieurbau/Windenergie im Ingenieurbüro GRBV Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG, seit 2021 Projektleiter Windenergie bei GRBV.

GRBV Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG,
Expo Plaza 10, 30539 Hannover

Boley, Conrad, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Seit 2004 Professor und Leiter des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau an der Universität der Bundeswehr München, seit 2006 Geschäftsführer der Ingenieurgesellschaft Boley Geotechnik, München, EBA-Prüfsachverständiger für Erd-, Grund- und Tunnelbau, Mitglied des Vorstandes der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) und Leiter der Fachsektion Felsmechanik, Vorsitzender des VPI-EBA Arbeitskreises Geotechnik und Tunnelbau, Mitglied in zahlreichen weiteren Normenausschüssen und Fachgremien.

Universität der Bundeswehr München,
Institut für Bodenmechanik und Grundbau,
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

Breitenbücher, Rolf, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

1977–1982 Studium des Bauingenieurwesens an der TU München, 1982–1983 Technischer Angestellter der Phillip Holzmann AG (NL München), 1983–1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter/Akad. Oberrat am Lehrstuhl für Baustoffkunde der TU München, 1989 Promotion am Lehrstuhl für Baustoffkunde der TU München, 1992–2002 Leiter des Zentralen Baustofflabors der Phillip Holzmann AG, 2003–2023 Professor am Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum.

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik, Universitätsstraße 150,
44801 Bochum

Busslinger, Andreas, Dr. sc. nat. Dipl. Naturwissenschaftler ETH

Studium der Naturwissenschaft Geophysik an der ETH Zürich (1994) und Promotion am Institut für Geophysik der ETH Zürich (1998); seit 1999 im Ingenieurbüro HBI Haerter AG in den Spezialgebieten Tunnellüftung, Aero- und Thermodynamik als Projektleiter tätig.

HBI Haerter AG, Belpstraße 48, 3007 Bern/Schweiz

Cao, Ba Trung, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium UTC Vietnam, seit 2011 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum, 2018 Promotion am Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität Bochum, 2018–2021 Postdoc und seit 2021 Forschungsgruppenleiter am Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität Bochum.

Lehrstuhl für Statik und Dynamik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Dehn, Frank, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der Universität Karlsruhe (TH), Promotion an der Universität Leipzig, Universitätsprofessor für Baustoffe und Betonbau am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IMB) und Direktor der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (MPA) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IMB), Abt. Baustoffe und Betonbau, Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (MPA Karlsruhe), Gotthard-Franz-Str. 3, 76131 Karlsruhe

Döhler, Jan Erik, M.Sc. Maschinenbau

Studium des Bauingenieurwesens (B.Sc.) am KIT Karlsruhe (2019) und des Maschinenbaus (M.Sc.) an der TH Chalmers, Göteborg (2022); seit 2022 im Ingenieurbüro HBI Haerter AG in den Spezialgebieten Strömungsmechanik und Aerodynamik als Projektleiter tätig.

HBI Haerter AG, Belpstraße 48, 3007 Bern/Schweiz

Evangelatos, Alexandros, Dipl.-Ing.

Masterstudium Mining und Tunneling mit Schwerpunkt Geotechnik und Tunnelbau an der Montanuniversität Leoben, seit 2022 Universitätsassistent am Lehrstuhl für Subsurface Engineering der Montanuniversität Leoben sowie Dissertant auf dem Gebiet der

Entwicklung von Grundlagen für den Einsatz von Faserbetontübbungen in Österreich.

Montanuniversität Leoben, Institut für Subsurface Engineering, Erzherzog-Johann-Straße 3, 8700 Leoben/Österreich

Fingerloos, Frank, Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium Hochschule für Bauwesen Cottbus, dort 1986–1990 wiss. Mitarbeiter und Promotion am Lehrstuhl Flächentragwerke und Stabilitätstheorie, 1990–2000 HOCHTIEF AG, seit 2000 beim Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E. V., seit 2008 öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger, seit 2008 Lehrauftrag und seit 2015 Honorarprofessur an der Technischen Universität Kaiserslautern (seit 2023 Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau).

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V., Kurfürstenstr. 129, 10785 Berlin

Fischer, Oliver, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing.

Bauingenieurstudium TUM, 1988–1995 wissenschaftlicher Assistent am Institut für Mechanik und Statik sowie für Konstruktiven Ingenieurbau (1995) an der Universität der Bundeswehr München, 1994 Promotion, 1996 Forschungspreis, 1996–2009 Bilfinger Berger AG, verschiedene Fach- und Führungspositionen im In-/Ausland, 1999–2009 Lehrauftrag Massivbrücken TU Darmstadt, seit 2009 Ordinarius für Massivbau, Sprecher der Leitung des MPA BAU und des Laboratoriums für Konstruktiven Ingenieurbau an der TUM, seit 2011 Mitglied des Vorstands des Ingenieurbüros Büchting + Streit AG, seit 2011 Prüflingenieur und Prüfsachverständiger für Baustatik sowie EBA-PSV für Massivbau und Geotechnik/Tunnelbau.

Technische Universität München (TUM), Lehrstuhl für Massivbau, Theresienstraße 90, 80333 München
Büchting + Streit AG, Gunzenlehstraße 22–24, 80689 München

Fleckl-Ernst, Johannes, Dipl.-Ing.

Studium der Geodäsie an der TU Graz, 2007–2008 Projektmitarbeiter am Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme der TU Graz, seit 2008 Fachreferent für Vermessung und Geoinformation in der ÖBB-Infrastruktur AG.

ÖBB-Infrastruktur AG, Europaplatz 12, 8020 Graz/Österreich

Flora, Matthias, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.

Bauingenieurstudium TU München und Universität Innsbruck, Promotion Universität Innsbruck, 2009–2014 Projektleiter Business Location Südtirol,

2014–2016 Bauleiter Jäger Bau, 2016–2023 Herrenknecht AG: Produktmanager, Mitglied der Geschäftsleitung Traffic Tunnelling, Stv. Vorstandsvorsitzender, seit 2020 Univ.-Prof. für Tunnel Information Modeling an der Universität Innsbruck, seit 2023 Gründer und Geschäftsführer der Flora Tunnelling GmbH.

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich
Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau,
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck/Österreich

Forouzandeh, Yashar, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der TU Isfahan, Bergische Universität Wuppertal und Ruhr-Universität-Bochum, 2015–2021 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promotion am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Universität der Bundeswehr München, seit 2021 Projektleiter bei der Boley Geotechnik GmbH.

Boley Geotechnik GmbH, Auenstraße 100,
80469 München

Freitag, Steffen, Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium TU Dresden, 2005–2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Dresden, 2010 Promotion am Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Tragwerke der TU Dresden, 2011–2012 Gastwissenschaftler an der School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, USA, 2012–2016 Postdoc und 2016–2021 Akademischer Rat am Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität Bochum, seit 2021 Universitätsprofessor und Leiter des Instituts für Baustatik am KIT.

Institut für Baustatik, Karlsruher Institut für
Technologie (KIT), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

Fröch, Georg, Dipl.-Ing. Dr. techn.

Architekturstudium an der Universität Innsbruck, 2007–2023 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Post-Doc an der Universität Innsbruck, 2023 Ass.-Prof. an der Universität Innsbruck/Arbeitsbereich Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau, 2012 Promotion am Arbeitsbereich für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement der UIBK, Mitglied des CEN TC 442 WG2 und WG9, 1992–1999 Planung, Bauleitung und Projektleitung in Architekturbüros, 1999 selbstständig, Architekturbüro und BIM.

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich
Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau,
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck/Österreich

Gädt, Torben, Prof. Dr. rer. nat.

Chemiestudium an der Universität Tübingen, 2006–2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Anorganische Chemie an der Universität Tübingen,

2008 Promotion, 2008–2020 verschiedene Positionen bei BASF, seit 2020 Leiter der Professur „Bauchemie“ an der Fakultät Chemie der Technischen Universität München.

Universität München, TUM School of Natural
Sciences, Department of Chemistry, Lichtenbergstr. 4,
85748 Garching bei München

Galler, Robert, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont.

HTL Bauwesen-Tiefbau; Studium und Dissertation an der Montanuniversität Leoben mit Vertiefung in Geomechanik, Tunnelbau und Konstruktiver Tiefbau; 1997–2007 bei GEOCONSULT Consulting Engineers; seit 2007 Professor für Subsurface Engineering an der Montanuniversität Leoben; seit 2013 Vorsitzender des ITACET (Komitee für Education und Training); seit 2016 Leiter des Untertage-Forschungszentrums ZaB – Zentrum am Berg; seit 2024 Präsident der österreichischen Gesellschaft für Geomechanik.

Montanuniversität Leoben, Institut für Subsurface
Engineering, Erzherzog-Johann-Straße 3,
8700 Leoben/Österreich

Forschungszentrum ZaB – Zentrum am Berg,
Erzberg, 8790 Eisenerz/Österreich

Göhlmann, Joachim, Dr.-Ing.

1991–1997 Bauingenieurstudium Leibniz Universität Hannover, 2000–2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Leibniz Universität Hannover, Institut für Massivbau, 2008 Promotion an der Leibniz Universität Hannover, seit 2007 bei GRBV Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co., seit 2010 Geschäftsführender Gesellschafter bei GRBV, seit 2016 Prüflingenieur für Baustatik, seit 2016 Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Betonkonstruktionen von On- und Offshore-Windenergieanlagen, seit 2022 EBA-Prüfsachverständiger im konstruktiven Ingenieurbau.

GRBV Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG,
Expo Plaza 10, 30539 Hannover

Grünberg, Jürgen, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

1963–1968 Bauingenieurstudium Berlin und Hannover, 1969–1974 wissenschaftlicher Assistent, Institut für Massivbau, TU Hannover, 1973 Promotion, 1974–1979 Hochtief AG, Hamburg, 1980–1982 Ingenieurgemeinschaft Meerestechnik + Seebau GmbH, Hamburg, 1983–2016 Beratender Ingenieur, 1986–2014 Prüflingenieur für Baustatik, 1993–2009 Univ.-Prof., Leibniz Universität Hannover, Institut für Massivbau, 1995–2012 EBA-Sachverständiger, 2010–2016 Geschäftsführender Gesellschafter der G + S Planungsgesellschaft mbH, Hamburg.

Flerrentwiete 79, 22559 Hamburg

Haist, Michael, Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der Universität Karlsruhe (TH), 2001–2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Baustoffe und Betonbau an der Universität Karlsruhe, 2009 Promotion, 2009–2016 und 2018 Oberingenieur am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie an der Universität Karlsruhe, 2016–2017 Visiting Scientist am Massachusetts Institute of Technology MIT, Cambridge, USA, seit 2019 Leiter der Professur „Baustoffe“ an der Leibniz Universität Hannover.

Leibniz Universität Hannover, Institut für Baustoffe, Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Hartmann, Sabine, M.Sc.

Bauingenieurstudium an der TUM, seit 2021 wissenschaftliche Mitarbeiterin am ICoM an der RWTH Aachen.

ICoM, Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Jülicher Straße 209d, 52070 Aachen

Hauzinger, Elisabeth, Dipl.-Ing.

Studium der Angewandten Geowissenschaften an der Montanuniversität Leoben, seit 2021 Universitätsassistentin am Lehrstuhl für Subsurface Engineering der Montanuniversität Leoben sowie Dissertantin auf dem Gebiet der Verwendung von Tunnelausbruch, Referenzprojekt ist unter anderem die FCC-Innovation Study des Future Circular Collider des CERN.

Montanuniversität Leoben, Institut für Subsurface Engineering, Erzherzog-Johann-Straße 3, 8700 Leoben/Österreich

Hegger, Josef, Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.

Bauingenieurstudium RWTH Aachen, 1979–1985 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Braunschweig, 1984 Promotion, 1985–1993 Philipp Holzmann AG, Frankfurt/Main: Tragwerksplanung und Bauleitung bei Hochhäusern, 1993–2023 Inhaber des Lehrstuhls für Massivbau der RWTH Aachen, seit 1994 Prüflingenieur für Baustatik und Gesellschafter der H + P Ingenieure GmbH, seit 1997 Sachverständiger des Eisenbahnbundesamtes, seit 2009 Obmann des DIN-Ausschusses Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbeton, seit 2009 deutscher Vertreter für Eurocode 2, 2015–2018 Mitglied des Project Teams für EC 2, seit 2016 Obmann des Ausschusses DIN 1045-1: Bemessung und Konstruktion in der DAfStb-Richtlinie Betonbauqualität.

RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Massivbau, Mies-van-der-Rohe-Straße 1, 52074 Aachen; H + P Ingenieure GmbH, Kackertstraße 10, 52072 Aachen

Jäkel, Jan-Iwo, M.Sc.

Bauingenieurstudium an der TH Nürnberg und UDE, seit 2021 wissenschaftlicher Mitarbeiter am ICoM an der RWTH Aachen

ICoM, Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Jülicher Straße 209d, 52070 Aachen

Kaus, Michelle, M.Sc.

Bauingenieurstudium an der RWTH, seit 2023 wissenschaftliche Mitarbeiterin am ICoM der RWTH Aachen.

ICoM, Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Jülicher Straße 209d, 52070 Aachen

Klemt-Albert, Katharina, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der RUB, Promotion 2001 mit Auszeichnung an der TU Darmstadt. 2001–2016 Tätigkeiten und Führungspositionen bei der Deutschen Bahn AG, seit 2016 Gründerin und CEO der albert.ing, 2016–2021 Professorin am ICoM an der LUH, seit 2021 Professorin am ICoM an der RWTH Aachen.

ICoM, Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Jülicher Straße 209d, 52070 Aachen

König, Markus, Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium mit Studienrichtung Angewandte Informatik an der Leibniz-Universität Hannover, 1997–2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Leibniz-Universität Hannover, 2003 Promotion am Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen Informatik an der Leibniz-Universität Hannover, 2004–2009 Juniorprofessor für Theoretische Methoden an der Bauhaus-Universität Weimar, seit 2009 Professor für Informatik im Bauwesen an der Ruhr-Universität Bochum.

Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Kugler, Till, M.Sc.

2013–2019 Bauingenieurstudium Universität Stuttgart, seit 2019 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart.

Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik (IGS), Pfaffenwaldring 35, 70569 Stuttgart

Leismann, Frank, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium an der RWTH Aachen, seit 1999 tätig in Planungsbüros für Tunnelbau, seit 2006 Mitarbeiter der STUVA im Bereich Tunnelbau und Bautechnik.

STUVA e. V., Mathias-Brüggen-Straße 41, 50827 Köln

Leucker, Roland, Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der RWTH Aachen, 1990–1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen, 1995 Promotion an der RWTH Aachen, 1995–2006 tätig bei Bauunternehmen im Technischen Büro und als Technischer Koordinator auf Tunnelbaustellen, seit 2006 Mitarbeiter der STUVA, seit 2007/2008 Geschäftsführer STUVAtec GmbH/STUVA e. V., seit 2012 Lehrbeauftragter an der Ruhr-Universität Bochum für das Fachgebiet Tunnelbetrieb, seit 2019 Honorarprofessor an Ruhr-Universität.

STUVA e. V., Mathias-Brüggen-Straße 41, 50827 Köln

Lienhart, Werner, Univ.-Prof., Dipl.-Ing., Dr. techn.

Studium der Geodäsie an der TU Graz und Nottingham Trent University, 2001–2006, Universitätsassistent am Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme der TU Graz, 2006 Promotion am Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme der TU Graz, 2006–2011 Produktmanager Innovation, Leica Geosystems AG, Heerbrugg/Schweiz, seit 2011 Professor für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme an der TU Graz.

Technische Universität Graz, Steyergasse 30, 8010 Graz/Österreich

Link, Julian, M.Sc.

Studium der Geowissenschaften an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und der RWTH Aachen, 2015–2019 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), seit 2019 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baustoffe der Leibniz Universität Hannover.

Leibniz Universität Hannover, Institut für Baustoffe, Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Ludwig, Horst-Michael, Prof. Dr.-Ing.

Studium der Silikatechnik an der Bauhaus-Universität Weimar, 1989–1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter am F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde an der Bauhaus-Universität Weimar, 1996 Promotion, 1996–2008 verschiedene Positionen bei der Schwenk Zement KG, 2008–2009 Head of Research/Development and Innovation bei der HeidelbergCement AG, seit 2009 Leiter

der Professur „Werkstoffe des Bauens“ und Institutsdirektor des F.A. Finger-Institutes für Baustoffkunde an der Bauhaus Universität Weimar.

Bauhaus-Universität Weimar, F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Coudraystr. 11, 99423 Weimar

Maier, Theresa, M.Sc.

Architekturstudium am KIT, seit 2019 BIM-Manager und Consultant im Unternehmen albert.ing GmbH, seit 2023 Head of Digital Engineering im Unternehmen albert.ing.

albert.ing GmbH, Hanauer Landstraße 184, 60314 Frankfurt am Main

Matschei, Thomas, Prof. Dr.-Ing.

Studium des Bauingenieurwesens an der Bauhaus-Universität Weimar, 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde an der Bauhaus Universität Weimar, 2004–2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Faculty of Chemistry der University of Aberdeen/UK, 2008 Promotion, 2008–2017 verschiedene Positionen bei der Holcim Technology Ltd. Holderbank/Schweiz, 2017–2020 Leiter der Professur „Betonbaustoffe und Betoninstandsetzung“ an der HTW Dresden, seit 2020 Leiter der Professur „Konstruktionswerkstoffe“ an der RWTH Aachen University.

RWTH Aachen University, Institut für Baustoffforschung (ibac), Schinkelstr. 3, 52062 Aachen

Meschke, Günther, Prof. Dr. techn.

Bauingenieurstudium TU Wien, 1984–1996 Universitätsassistent TU Wien, 1989 Promotion am Institut für Festigkeitslehre, TU Wien, 1991 Gastwissenschaftler Stanford University, USA, 1996–1998 Ao. Univ.-Prof. TU Wien, 2010–2012 Sprecher SFB837 „Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau“, seit 1998 Professor für Statik und Dynamik an der Ruhr-Universität Bochum.

Lehrstuhl für Statik und Dynamik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Monsberger, Christoph Martin, Dipl.-Ing., Dr. techn.

Studium der Geodäsie an der TU Graz, 2015–2022 Universitäts- und wissenschaftlicher Projektassistent am Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme der TU Graz, 2022 Promotion am Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme der TU Graz, seit 2021 Geschäftsführender Gesellschafter der ACI Monitoring GmbH.

ACI Monitoring GmbH, Merangasse 73/3, 8010 Graz/Österreich

Moormann, Christian, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.

Bauingenieurstudium an der Universität Hannover, 1995–2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut und der Versuchsanstalt für Geotechnik der TU Darmstadt, 2002 Promotion, 2009 Habilitation an der TU Darmstadt, 2001–2010 Beratender Ingenieur, Partner und Geschäftsführer in Ingenieurbüros für Geotechnik, seit 2010 Ordinarius und Direktor des Instituts für Geotechnik an der Universität Stuttgart, seit 2010 Inhaber des Ingenieurbüros MGC · Prof. Moormann Geotechnik Consult, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Erdbau, Grundbau, Felsbau sowie Spezialtiefbau, seit 2023 Vorsitzender des Vorstandes der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT).

Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik (IGS), Pfaffenwaldring 35, 70569 Stuttgart

Moritz, Bernd, Dipl.-Ing. Dr. techn.

Bauingenieurstudium an der TU Graz, 1996–2000 Universitätsassistent am Institut für Felsmechanik und Tunnelbau der TU Graz, 1999 Promotion am Institut für Felsmechanik und Tunnelbau der TU Graz, 2000–2006 Projektleiter Geotechnik im Ingenieurbüro Geoconsult Salzburg, 2006–2009 Projektleiter Geotechnik im Ingenieurbüro iC Consulente Salzburg, seit 2009 Fachreferent Tunnelbau in der ÖBB-Infrastruktur AG.

ÖBB-Infrastruktur AG, Europaplatz 12, 8020 Graz/Österreich

Neu, Gerrit Emanuel, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium Ruhr-Universität Bochum, seit 2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum, 2023 Promotion am Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität Bochum.

Lehrstuhl für Statik und Dynamik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Oettel, Vincent, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium HAWK Hildesheim und TU Braunschweig, 2007–2009 Projekt-Ingenieur bei Stahlbau Engineering Hannover (SEH), 2009–2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter und 2015–2021 Oberingenieur sowie 2016 Promotion am iMBB, Fachgebiet Massivbau der TU Braunschweig, seit 2021 Univ.-Prof. für Massivbau an der Leibniz Universität Hannover, seit 2021 Berater für G + S Planungsgesellschaft mbH, seit 2021 Mitglied des Direktoriums des Testzentrums für Tragstrukturen Hannover (TTH).

Leibniz Universität Hannover, Institut für Massivbau, Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Overmann, Steffen, M.Sc.

Studium der Mineralogie und Materialwissenschaften Universität Leipzig, seit 2018 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen.

RWTH Aachen University, Institut für Baustoffforschung (ibac), Schinkelstr. 3, 52062 Aachen

Pickhardt, Roland, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium an der RWTH Aachen, Fachrichtung konstruktiver Ingenieurbau, 1987–1991 Philipp Holzmann AG, Düsseldorf (Bauleitung, Baustoffüberwachung), seit 1992 Bauberatung Zement (Köln und Düsseldorf) und nachfolgend BetonMarketing West, derzeit Projektleiter Technik des Informations-Zentrums Beton. Mitglied in Normenausschüssen und Gremien, z. B. DIN-Normenausschuss „Bauausführung“ (DIN 1045-3), Mitglied des erweiterten Vorstands sowie Leiter der Regionalgruppe Nordrhein des Verbands Deutscher Betoningenieure (VDB).

InformationsZentrum Beton GmbH, Neustr. 1, 59269 Beckum

Plückelmann, Sven, Dr.-Ing.

2009–2015 Studium des Bauingenieurwesens an der Ruhr-Universität Bochum, 2015–2024 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum, 2024 Promotion am Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum, seit 2024 Stellvertretender Prüfstellenleiter der Materialprüfanstalt Hartl Deutschland GmbH.

Materialprüfanstalt Hartl Deutschland GmbH, Wendenweg 19, 44149 Dortmund

Pratter, Paul, Dipl.-Ing.

Geotechnik- und Bergbaustudium an der TU Bergakademie Freiberg, 2015–2016 Deutschlandstipendium der MIBRAG GmbH, 2016–2018 Projekt-Ingenieur bei der Ed. Züblin AG – Zentrale Technik, 2018–2022 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Universität der Bundeswehr München, seit 2023 bei der Boley Geotechnik GmbH, Prokurist und Mitglied der Geschäftsleitung.

Boley Geotechnik GmbH, Auenstraße 100, 80469 München

Richter, Thomas, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der TH Leipzig, Auslandsbauleitung, 1986–1991 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TH Leipzig und der TU München, Promotion zu hochfesten Betonen, 1991–2014 Bauberatung Zement und BetonMarketing Ost bzw. Nordost, seit 2016